



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Vaihtoehtoisten tuotantomenetelmien vaikutus ohutlevytuotteen suunnitteluun

Kasper Koskimäki

KONETEKNIikka

Diplomityö

Kesäkuu 2021

TIIVISTELMÄ

Vaihtoehtoisten tuotantomenetelmien vaikutus ohutlevytuotteen suunnitteluun

Kasper Koskimäki

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Diplomityö 2021, 66 s.

Työn ohjaajat yliopistolla: Juhani Niskanen, Jyri Porter

Tämän diplomityön aiheena on raskaan kuljetuskaluston työkalulaatikon tuotekehitys ja uudelleensuunnittelu vaihtoehtoisille tuotantomenetelmille. Tutkimuksen tavoitteena on suunnitella uusilla tuotantomenetelmillä valmistettava työkalulaatikon malli tuotannon tehokkuuden parantamiseksi ja samalla ratkaista nykyisessä mallissa havaittuja ongelmia.

Työssä käydään läpi ohutlevytuotteen suunnittelussa huomioon otettavia rajoituksia ja haasteita. Lähtökohtina toimivat muun muassa tuotannon toimivuuden ja tehokkuuden optimointi, sekä asiakkaan toiveet liittyen työkalulaatikon ulkonäköön ja yhteensopivuuteen nykyisen mallin kanssa. Lisäksi esitetään aiheen ymmärtämistä tukevaa teoriaa, joka käsittelee ohutlevyn tuotteiden tuotantomenetelmiä, ohutlevykokoonpanoja, sekä tuotekehityksessä käytettyjä ratkaisuja. Teoriassa esitettiin myös suunnittelukäytäntöjä ja -filosofioita, mitä uuden työkalulaatikon tuotekehityksessä ja uudelleensuunnittelussa käytetään.

Tuloksena on uusi malli, joka on mahdollista valmistaa asiakkaan haluamalla tuotantomenetelmillä, mutta on myös ratkonut nykyisessä mallissa ilmenneitä ongelmia, kuten laatikon jäykkyyden puutetta ja hitsauksesta johtuneita muodonmuutoksia. Tästä mallista valmistetaan prototyyppi, jonka jälkeen voidaan päättää jatkotoimenpiteistä.

Asiasanat: Ohutlevytuote, Tuotantomenetelmä, Jäykistekuvio

ABSTRACT

The Effect of Alternative Production Methods on Sheet Metal Product Design

Kasper Koskimäki

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Master's thesis 2021, 66 pp.

Supervisors at the university: Juhani Niskanen, Jyri Porter

The topic of this master's thesis is product development and redesign of transport equipment toolboxes for alternative production methods. The aim of the study is to design a toolbox model to be manufactured with new production methods to improve efficiency of the production and at the same time to solve the problems in the current model.

The thesis reviews the restrictions and challenges that should be considered when designing a sheet metal product. The basis of this thesis is, among other things, the optimization of the functionality and efficiency of production, as well as the customer's wishes regarding the appearance of the toolbox and its backwards compatibility. In addition, some theory supporting the understanding of the topic is presented, which consists of the production methods, sheet metal assemblies, and solutions used in product development process. The theory of design practices and philosophies that are used in the product development and redesign of the new toolbox is also presented.

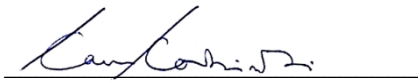
The result is a new model that can be manufactured using the production methods desired by the customer but has also solved the problems encountered in the current model, such as lack of stiffness and deformations due to welding. A prototype is made of this model, after which further measures can be decided.

Keywords: Sheet metal product, Production method, Sheet metal beading

ALKUSANAT

Tämän diplomityön tarkoituksena toimia opinnäytetyönä diplomi-insinöörin opinnoissa. Työn ajanjakso oli helmikuusta 2021 kesäkuuhun 2021. Haluan osoittaa kiitokset työn ohjaajalle Hefmecissä Petja Lindstörmille, ohjaajille Oulun yliopistolla; Juhani Niskaselle ja Jyri Porterille.

Vantaa, 07.06.2021



Kasper Koskimäki

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	1
ABSTRACT.....	2
ALKUSANAT	3
SISÄLLYSLUETTELO.....	4
MERKINNÄT JA LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tavoite	7
1.2 Kuorma-auton työkalulaatikko.....	7
1.3 Työkalulaatikon nykytila	9
2 TEORIAOSUUS	10
2.1 Aihion valmistusprosessi	10
2.1.1 Laserleikkaus	10
2.1.2 Levytyökeskus	10
2.2 Ohutlevyn taivutus	12
2.2.1 Särmäyskone.....	13
2.2.2 Taivutuskone.....	14
2.3 Kokoonpanon liitokset	15
2.3.1 Hitsaus	15
2.3.2 Ohutlevykiinnikkeet	16
2.4 Suunnitteluprosessi	16
2.4.1 DFM - Design for Manufacturing.....	17
2.4.2 DFA - Design for Assembly	17
2.5 Ohutlevytuotteen suunnittelu	18
2.5.1 Päätösmatriisi.....	18
2.5.2 Suunnitteluratkaisuiden vaikutukset.....	19
2.5.3 Ohutlevysuunnittelu taivutukset huomioon ottaen	22
2.5.4 Huomioon otettavat ominaisuudet kappaleissa	22
2.5.5 Toleranssit ja vakio-osien käyttö	23
2.6 Tuotannon suunnittelu.....	24
2.6.1 Takaisinjousto.....	25
2.6.2 Ohutlevyn geometrinen vahvistaminen	25
2.6.3 Jäykistekuviointi	26
3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	28

3.1 Työkalulaatikon nykytilan tarkempi analysointi.....	28
3.1.1 Nykyisen kokoonpanon esittely.....	28
3.1.2 Laatikon kuormitus ja kiinnitys	32
3.1.3 Nykyisen mallin puuteet ja ongelmat	34
3.2 Vaatimusten määrittely	35
3.2.1 Asiakkaan muut toiveet	35
3.2.2 Aihiookoon optimointi.....	36
3.3 Toteutusvaihtoehtojen karsiminen	36
3.4 Jäykistekuviointi	37
3.4.1 Kuvioinnin rajoitukset	39
3.4.2 Laskelmien parametrit	40
4 TULOKSET	44
4.1 Aihiookoon optimisoinnin tulokset.....	44
4.2 Jäykistekuvioinnin tulokset.....	45
4.2.1 Kuvion optimointi.....	48
4.2.2 Käytettävän kuvion valinta	49
4.3 Suunnitteluratkaisut.....	50
4.3.1 Aihion suunnittelu	50
4.3.2 Taivutusten suunnittelu.....	52
4.3.3 Kokoonpano.....	54
4.3.4 Muokattavuus	58
4.3.5 Yhteensopivuus.....	60
4.3.6 Kustannukset.....	61
5 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA SUOSITUKSIA.....	63
6 YHTEENVETO	64
LÄHDELUETTELO	65

MERKINNÄT JA LYHENTEET

b	Taivutettavan osan pituus
d	Reiän halkaisija
DFA	Suunnittelu valmistettavuus prioriteettina (Design for Assembly)
DFM	Suunnittelu kokoonpantavuus prioriteettina (Design for Manufacturing)
R	Taivutuksen säde
s	Taivutettavan materiaalin paksuus
x	Reiän pienin sallittu etäisyys taivutuksesta

1 JOHDANTO

Tämän diplomityön kohteena on raskaan kuljetuskaluston työkalulaatikon tuotekehitys ja uudelleensuunnittelu vaihtoehtoisille tuotantomenetelmille. Tutkimuksen tarkoituksena on siirtää tuotantoa pois vanhoilta tuotantomenetelmiltä tuotannon tehokkuuden ja tuotteen parantamiseksi. Lisäksi halutaan etsiä helposti toteutettavia ja toimivia ratkaisuja vanhassa mallissa havaittuihin ongelmiin. Työ tehdään projektiluontoisena suunnittelu- ja konsultointityönä asiakkaalle. Suunnittelussa on otettu huomioon ohutlevytuotteen suunnittelun tuomat rajoitukset ja haasteet, tuotannon toimivuuden ja sujuvuuden optimointi ja muut askikaan toiveet liittyen työkalulaatikon ulkonäköön ja yhteensopivuuteen nykyisen mallin kanssa. Tarkoituksena olisi saada paranneltu ja toimiva työkalulaatikon malli, sekä varmistaa tuotannon toimivuus.

1.1 Työn tavoite

Työn tärkein tavoite on aihion valmistuksen siirto levytyökeskukselle laserleikkaukselta. Tämä on projektin ylivoimaisesti tärkein prioriteetti. Suunniteltavan tuotteen valmistusprosessi halutaan siirtää pois laserleikkaukselta, koska suunniteltava tuote voidaan valmistaa uudella levytyökeskuksella, jolla ei ole vielä täyttä kuormitusta ja siten myös muiden laserleikattujen tuotteiden tuotantomäärää voidaan kasvattaa. Samalla tavoitteena on tehdä taivutukset levytyökeskuksen vieressä sijaitsevalla taivutuskoneella. Siten tuotantotilojen layoutia hyödynnetään eniten ja seurauksensa koko tuotannon tehokkuus paranee. Lisäksi levytyökeskus on käytännössä myös tehokkaampi tapa valmistaa aihiot. Tavoitteena on myös suunnitella aiempaa tiiviimpi ja jäykempi kuorma-auton työkalulaatikko, ottaen huomioon rajoitukset ja asiakkaan esittämät toiveet.

1.2 Kuorma-auton työkalulaatikko

Projektin asiakas VAK tarjoaa raskaan kuljetuskaluston ratkaisuja ja hoitaa tuotteiden valmistuksen ja kokoonpanon alusta loppuun. Tuotantomahdollisuudet ovat mm. kuljetuskorit, täysperävaunut, puoliperävaunut kuljetusyritysten yksilöllisiin tarpeisiin. Kuvissa 1 ja 2 (VAK) on esitettyinä asiakkaan tuotteita. Näihin kokoonpanoihin kuuluu yleensä myös työkalulaatikko, ja/tai muu laatikko, jossa käytetään pohjana työkalulaatikon mallia. Laatikot ovat yleensä sijoitettuna kaluston ala-alaosaan renkaiden väliin tai viereen. Kiinnitys tapahtuu runkoon. Laatikkoja on muutamaa vakiokokoa,

kuten esimerkiksi tiettyihin tarkoituksiin tarkoitettut laatikot, mutta useat laatikot ovat myös ainutlaatuisia ja ne valmistetaan yksilöllisesti. Tämän takia olisi tärkeää, että myös uuden laatikon mallin valmistus- ja kokoonpanoperiaatteet olisivat helposti skaalattavissa eri kokoihin ja muotoihin.



Kuva 1. Asiakkaan täysperävaunuyhdistelmä (VAK)



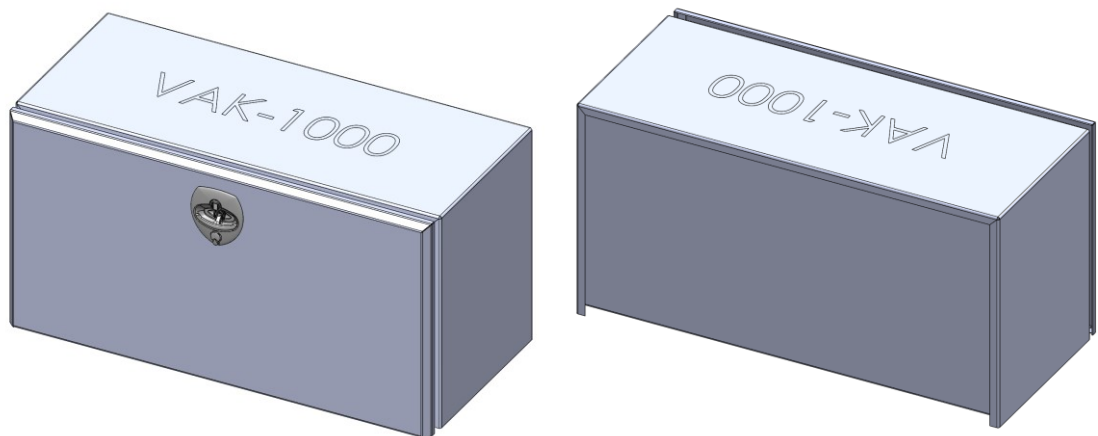
Kuva 2. Asiakkaan puoliperävaunu (VAK)

Laatikossa voidaan säilyttää mahdollisesti myös asioita ja esineitä, joiden pitäisi pysyä kuivana siitä huolimatta, että laatikot yleensä ovat sijoitettuna kovaa kulutusta ja kosteutta kokevassa ympäristössä. Laatikon rakenteen pitäisi myös olla käyttäjäystävällinen, eli kannen pitäisi toimia luotettavasti ja helposti, sekä tiivisteiden ei tulisi irrota joka avauksella. Lisäksi asiakkaan käyttäjäkyselystä on selvinnyt, että laatikon käyttäjä saattaa

useasti nostaa laatikosta painavia työkaluja avoinna olevan kannen päälle. Myös avoimen kannen päällä seisominen on yleistä, vaikkei kantta ole suunniteltu kestävänsäkään sellaista kuormitusta. Nämä asiat ovat tärkeitä laatikon uudelleensuunnittelussa. Tämän takia uudessa mallissa voidaan käyttää hyödyksi jo edellisessä mallissa hyviksi ja toimiviksi havaittuja ratkaisuja.

1.3 Työkalulaatikon nykytila

Työkalulaatikon kokopano koostuu tällä hetkellä kahdesta isosta ohutlevyosasta ja kannesta (ks. Kuva 3.). Osien aihiot leikataan laserleikkaustyöpiisteellä, jonka jälkeen ne taivutellaan oikeaan muotoon särmäyskoneella. Osien kokoonpanon liitokset tapahtuvat hitsaamalla.



Kuva 3. Työkalulaatiko nykyinen malli.

2 TEORIAOSUUS

2.1 Aihion valmistusprosessi

Ohutlevyn leikkaaminen haluttuun muotoon on yleisin aihioden valmistusprosessi. Aihio on tasainen ja leikattu pala metallilevyä, josta lopulta tulee valmis osa aihion valmistusta seuraavien prosessien jälkeen. Leikkaustoimintojen suorittaminen on yleisempää taivutusta vaativissa kappaleissa, koska prässäämällä tehtävien kappaleiden valmistusprosessi tuottaa usein aihiot jo lopullisen prosessin aikana Tätä kutsutaan progressiiviseksi ohutlevyntyöstöksi. Myös valmistettavien aihioden sijoitteluun levyaihiolle voidaan kiinnittää huomiota. Asettelemiseen ja aihion koon optimointiin kannattaa kiinnittää huomiota raaka-aineen tuhlaamisen minimoimiseksi. (Gillberg & Sandberg, 2017))

2.1.1 Laserleikkaus

Laserleikkaus on vakiintunut menetelmä muun muassa aihioden leikkaamiseen suuremmista metallilevyistä. Laserleikkaus on nopea ja tarkka menetelmä, jolla on vain vähän vaikutuksia materiaaliin. On yleistä, että leikkauskohtiin ilmestyy hieman purseita sekä ohut oksidikerros. Laserleikkauksen jälkeisistä prosesseista riippuen nämä voidaan joutua poistamaan ennen seuraavaa vaihetta. Joskus voi olla myös tarpeen jättää leikattuun kappaleeseen "runko" tai tyhjä "kuori", jotta hukkamateriaali voidaan poistaa helposti. Tämän vuoksi komponentteja ei ole mahdollista sijoittaa reunasta reunaan, ja siksi laserleikkauksessa syntyy aina jonkin verran hukkaa. Laserleikattujen kulmien tulisi aina olla hieman pyöristettyjä, jotta vältetään laserin pysyminen yhdessä paikassa liian kauan. Tämä pätee myös halkaisijaltaan pienien reikien leikkaamiseen. Tämä voi aiheuttaa materiaalin sulamisen ja aiheuttaa rakenteellisia muutoksia materiaalissa. Kaikkien kulmien pyöristäminen varmistaa myös, että tuotannon ja kokoonpanon työntekijöiden on turvallisempaa käsitellä valmista aihiota. (Gillberg & Sandberg, 2017)

2.1.2 Levytyökeskus

Levytyökeskus on tarkoitettu ohutlevyjen työstöön. Sillä voidaan leikata, lävistää ja muovata ohutlevyjä. Levytyökeskus voi myös sisältää laserleikkauksen mahdollisuuden, mutta työssä käytettävässä mallissa työstö tapahtuu pistimen ja tyynyn avulla lävistämällä. Levyn lävistys voi tapahtua kertauskalla tai tekemällä useita lävistysiskuja

peräkkäinen (nakerrus). Levytyökeskuksia on monenlaisia. Niitä on saatavilla erilaisilla runkorakenteilla, työkalunvaihtojärjestelmällä ja lisälaitteilla. Levytyökeskukset voidaan jakaa myös käyttöperiaatteen mukaan hydraulisiin ja mekaanisiin koneisiin. (Tekninen tiedotus 9/88)

Lävistystyökone koostuu lävistimestä ja vastinosasta. Sitä käytetään erimuotoisten reikien tekemiseen. Suunniteltavan tuotteen valmistukseen käytettävä levytyökeskus (Shear Genius SG1540) on lävistys- ja kulmaleikkauskone (ks. Kuva 4.). Se siis pystyy tekemään lävistyksiä revolverin työkaluilla ja se sisältää myös kulmaleikkurin, jolla pystyy tekemään pidempiä suoria leikkauksia. Koneen lävistysvoima on 230 kN ja iskunopeus on 700 /min. Muovattavan levyn maksimipaksuus on materiaalista riippuen 3–5 mm, ja työssä suunniteltavan tuotteen materiaalille (Ruostumaton teräs) se on 3 mm.



Kuva 4. Suunniteltavan tuotteen valmistukseen käytettävä levytyökeskus Shear Genius SG1540 (Prima power)

Lävistämisen ja leikkaamisen lisäksi voidaan levytyökeskuksella myös taivuttaa ja muovata haluttuun muotoon. Näin syntyvät muodot ja taivutukset ovat tietysti rajallisempia kuin niitä varten kehitellyillä menetelmillä. Vahvistavat geometriat, kuten kohokuviot tai urat, voidaan siis jossain määrin tehdä lävistys- tai yhdistelmäkoneilla. Pienet tai useasti toistuvat ja ainutlaatuiset geometriat voidaan valmistaa näitä varten räätälöidyllä työkalulla. Erilaisia leikkausgeometrioita voidaan valmistaa yhdistelemällä useita standardimuotojen työkaluja. Vahvistavia geometrioita käsitellään lisää luvussa 2.6.3. (Mäki-Mantila, 2001 s. 52–53.)

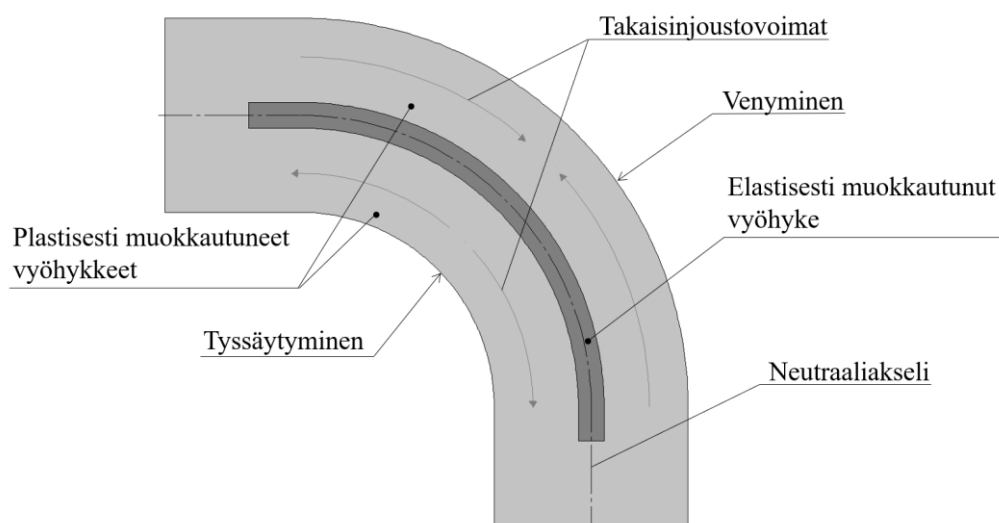
Komponentin kustannusten alentamiseksi voi olla myös hyödyllistä harkita kappaleen suunnittelua siten, että tuotteeseen tehtävät muovaukset ja taivutukset on mahdollista

suorittaa levytyökeskuksella samassa työvaiheessa lävistysten kanssa. Tällä säästetään tarvittavien koneiden ja työvaiheiden määrässä, nopeutetaan läpimenoaikaa ja yksinkertaistetaan tuotannonohjausta. Lisäksi olisi kustannustehokasta valmistaa aihiot siten, että syntyy mahdollisimman vähän jättemateriaalia. Tätä hukan määrä voidaan minimoida sijoittamalla valmistettavien aihoiden ääriviivat levyaihioon mahdollisimman lomittain käyttäen hyödyksi mahdollisimman paljon levyaihioista. (Mäki-Mantila, 2001 s. 52–53.)

2.2 Ohutlevyn taivutus

Taivutus on yksi yleisimmistä ohutlevyjen valmistusmenetelmistä. Sitä käytetään esimerkiksi erilaisten kannattimien, saranoiden, tukien ja kulmien valmistuksessa. Käytännössä se tarkoittaa tuotteen valmistamista yleensä valmiiksi suunnitellusta ohutlevyaihioista taivuttamalla. Taivutettuja ohutlevytuotteita tai -komponentteja käytetään yleisesti auto- ja lentokone-teollisuudessa. (Gillberg & Sandberg, 2017)

Taivutusoperaatiossa ohutlevy pakotetaan haluttuun muotoon. Taivutuksen aiheuttamat vetojännitys ja puristusjännitys ovat suhteessa toistensa kanssa siten, että vetojännitys pienenee taivutuskohdan ulkoreunan säteeltä ja levyn keskikohtaa lähestyttäessä pienenee nolaksi, kunnes neutraalilla akselin jälkeen puristusjännitys alkaa kasvaa kohti taivutuskohdan sisäpuolen reunaa. (ks. Kuva 5.) Valitun materiaalin materiaaliominaisuudet sekä taivutuksen parametrit vaikuttavat taivutusprosessin onnistumiseen ja haluttuun tarkkuuteen. (Hingole, 2015).

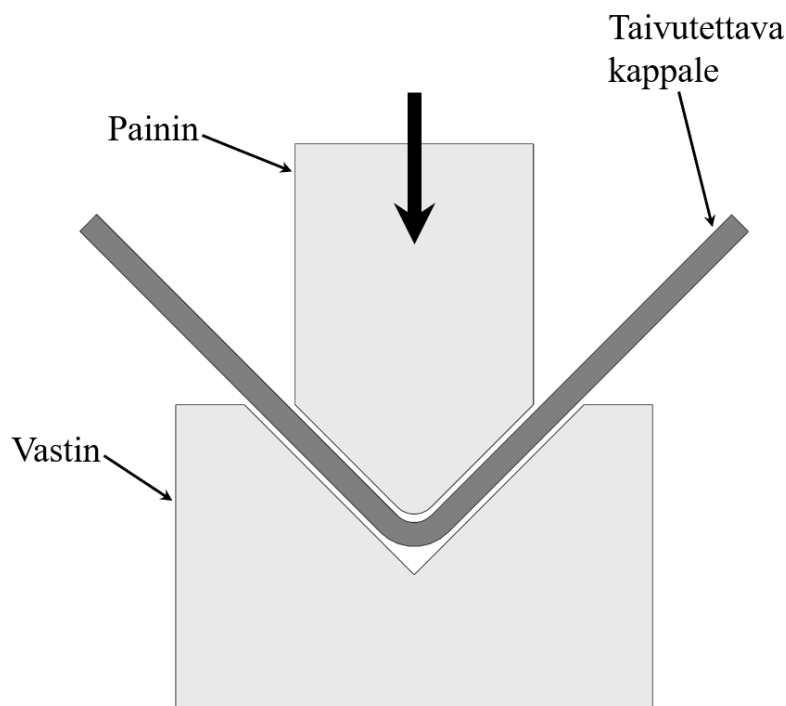


Kuva 5. Taivutuksessa syntyvät vyöhykkeet (Lepola & Makkonen 2011)

Taivutettaessa materiaali säilyttää osan alkuperäisestä joustavuudestaan, koska murtorajaa ei ylitetä taivutusprosessin aikana, vaikka materiaalin myötöraja voidaan ylittää. Taivutuskohdan sisäpinnalla esiintyy tyssäntymistä ja ulkopinnalla puolestaan venymistä. Venymisestä ja tyssäntymisestä aiheutuu taivutuskohtaan veto- ja puristusjännitystä. (Lepola & Makkonen 2011, 303.) Tästä johtuen taivutetussa kappaleessa paksuuden keskikohdassa voi ilmetä jonkin verran elastista palautumista. Materiaalin muotoilun aikana se sen muoto mukailee työkalujen muotoja, mutta kun prosessissa tarvittava kuormitus puretaan, materiaali yrittää palata takaisin alkuperäiseen muotoonsa. Tätä ilmiötä kutsutaan takaisinjoustoksi (eng. Spring back) ja sitä käsitellään tarkemmin vielä kappaleessa 2.6.1. (Hingole, 2015).

2.2.1 Särmäyskone

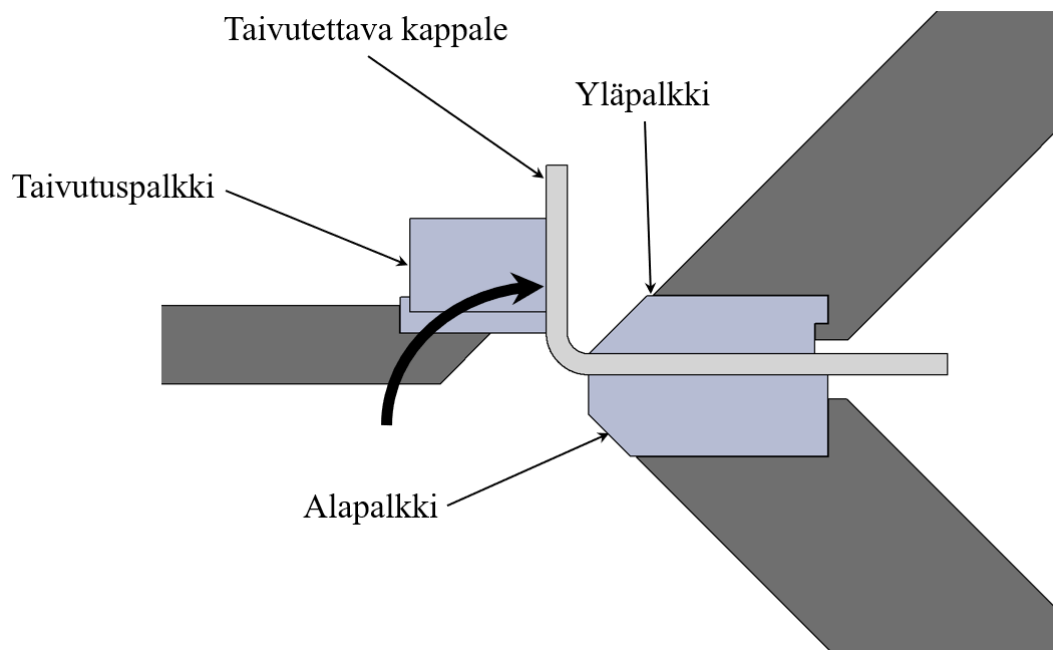
Taivutus voidaan tehdä monella eri tavalla ja työkalut vaihtelevat käsikäyttöisistä ja hydraulisista taivuttimista täysin tietokoneavusteisiin CNC-koneisiin. Särmäyspuristin on yleisimpiä koneita ohutlevytuotteiden valmistuksessa. Särmäyspuristimella taivutus tapahtuu asettamalla levyaihio ylä- ja alapalkissa olevien painimen ja vastimen väliin, jossa puristavalla liikkeellä saadaan aikaan haluttu taivutuskulma ja taivutussäde kuvan 6 mukaisesti. Kuvassa 6 esitetään yksinkertaistettua mallia särmäyskoneella taivutetusta osasta. (Mäki-Mantila, 2001 s. 52–53.)



Kuva 6. Särmäyspuristimen toiminta

2.2.2 Taivutuskone

Työssä suunnittelun tuotteen valmistuksessa käytetään edellä mainitun särmäyskoneen sijasta taivutuskonetta. Taivutuskone on ohutlevyjen taivuttamiseen tarkoitettu kone, jossa on yleensä liikkuva ala-asentoon lukittava yläpalkki, joka puristaa taivutettavan levyn ylä- ja alapalkin väliin. Taivutus tapahtuu lukituspalkeista erillisellä taivutuspalkilla yleensä alhaalta ylöspäin, kuten kuvassa 7 on kuvattu. Levy puristetaan ylä- ja alapalkin leukojen väliin, minkä jälkeen taivutuspalkkia kääntämällä tehdään halutun suuruinen kulma. Joillakin malleilla myös taivutukset ylhäältä alaspäin ovat mahdollisia. Taivutuksen profiilin muotoon voidaan vaikuttaa yläpalkin erilaisilla taivutustyökalulla. Jos taivutuskoneen työkalujen pyöristys on taivutettavan vapaan pään taivutussädettä suurempi, muotoutuu levy taivutustyökalun mukaan ja vapaasti mikäli työkalun pyöristys on pienempi kuin taivutussäde. (Matilainen ym. 2011 s.240).



Kuva 7. Taivutustapahtuma taivutuskoneella

Taivutuskone on yksinkertaisin koneellinen tapa taivuttaa ohutlevyä. Käyttövoima saadaan riippuen laitteen koosta yleisimmin joko ihmisen käyttämästä vipuvarresta tai hydraulikasta, joten koneita on käsikäyttöisistä aina täysin tietokoneohjattuihin malleihin. Käsikäyttöisiä taivutuskoneita voidaan myös kutsua kanttikoneiksi. (Matilainen ym. 2011 s.239)

Menetelmä eroaa särmäyksestä siten, ettei taivutettava levy liu’u taivutusprosessissa työkalun pintoja vasten. Tämän takia menetelmä on särmäystä hellävaraisempi pinnoitetuille teräksille, ja soveltuu siksi hyvin työssä suunniteltavaan kohteeseen. (Matilainen ym. 2011 s.239)

2.3 Kokoonpanon liitokset

Ohutlevytuotteen kokoonpanon liitoksiin on monia eri vaihtoehtoja. Niitä voi olla pysyviä ratkaisuja kuten hitsaus ja liimaaminen ja peruutettavia kuten ruuviliitokset. Menetelmää valittaessa täytyy ottaa huomioon suunniteltavan tuotteen rajoitukset ja halutut ominaisuudet.

2.3.1 Hitsaus

Hitsausta käytetään yleensä taivutusta vaativien kappaleiden yhdistämiseen toisiinsa. Hitsaus on tehokas, tarkka ja tarvittaessa tiivis tapa liittää reunat, osat tai pinnat yhteen. Nykyään massatuotannossa suurin osa ohutlevyjen hitsauksesta on automatisoitua, mikä varmistaa tasaisen laadun kaikissa hitseissä. Hitsaus kuitenkin aiheuttaa muutoksia materiaalin mekaanisissa ominaisuuksissa, ja syntyvästä lämmöstä voi aiheutua myös ei haluttuja muodonmuutoksia geometriassa. Tämän vuoksi hitsien sijoittelu tulisi harkita tarkkaan ja mitoittaa oikein. (Gillberg & Sandberg, 2017)

Hitsaus tulisi pitää minimissä materiaalin vääristymisen rajoittamiseksi sekä materiaalin ominaisuuksien muutoksen rajoittamiseksi. Hitsaus voi myös johtaa materiaalin vääristymiin, mikä tarkoittaa, että materiaali taipuu hieman hitsin takia. Tämän rajoittamiseksi hitsaus tulisi suorittaa mieluiten symmetrisesti. Vääristymä vaikuttaa minkä tahansa ominaisuuden sijaintiin kappaleen hitsatussa osassa, josta voi aiheutua, että ei päästä haluttuihin toleransseihin. Materiaalin heikkenemistä ja muotovääristymiä voidaan välttää vähentämällä hitsien määrää käyttämällä esimerkiksi yhteen puristavaa liitosmenetelmää tai muotosulkeista geometriaa käyttämällä. Myös käyttämällä ohjaavia reikiä ja tappeja on mahdollista lisätä päästä tarkempiin toleransseihin hitsattaessa komponentteja yhteen. Ohjausreiät ja ohjaintapit varmistavat myös, että hitsattavat kappaleet on sijoitettu oikein. (Gillberg & Sandberg, 2017)

Pistehitsaus on vartenotettava valinta ohutlevyosien liittämiseen toisiinsa. Tämä menetelmä ei muodosta liitoskohtiin minkäänlaista epätasaisuutta. Lisäksi

vastuspistehitsaus on suhteellisen nopea menetelmä verrattuna pitkiin hitsisaumoihin, minkä vuoksi sitä käytetään runsaasti mm. autoteollisuudessa.

2.3.2 Ohutlevykiinnikkeet

Ruuvi ja mutteri olisivat suoraviivainen ja yksinkertainen tapa liittää osat kokoonpanossa, mutta tämä ratkaisu todennäköisesti ei olisi käytännöllinen sen hitauden ja muiden visuaalisten seikkojen jälkeen. Näistä syistä edellä mainittu ratkaisu ei ole tavallista vetoniittiä parempi. Liitoksen tapaa valittaessa pitää kuitenkin ottaa huomioon laatikon kokemat kuormitukset. Esimerkiksi tärinä voi olla ongelma joillekin näistä liitostavoista, varsinkin jos kierrelukitteita ei käytetä nopeamman kokoonpanon takia.



Kuva 8. Puristeruuvi (Tappex)

Muina vaihtoehtoina voisi liitoksissa olla erilaiset kierteelliset ohutlevykiinnikkeet, kuten niittimutterit, puristeruuvit ja -mutterit, sekä ohutlevyruuvit. Näistä potentiaalisin vaihtoehto voisi olla puristeruuvi sen helppokäyttöisyyden tai ulkonäköseikkojen takia. Puristeruuvit (ks. Kuva 8.) ovat ulkokierteellisiä liitoselementtejä, jotka asennetaan ohutlevyyn puristamalla ohutlevyssä olevaan valmiina olevaan reikään. Puristeruuvin kannan ura ja hammastus muovaavat asennettaessa ohutlevyä luoden lujan liitoksen. (Würth Elektronik Oy, 2009)

2.4 Suunnitteluprosessi

Suunnitteluprosessi aloitetaan teknisellä vaatimusten määrittelyllä. Vaatimusten määrittelyssä kerätään asiakkaan vaatimukset ja toiveet. Tuotteeseen liittyvien teknisten vaatimusten kuten toimivuuden, tehokkuuden ja turvallisuuden lisäksi haluttiin kohdetuotteen tuotekehityksessä ja uudelleensuunnittelussa ottaa huomioon ainakin

valmistettavuus, kokoonpantavuus, asiakaskokemus, brändinhallinta, laatu, taaksepäin yhteensopivuus ja kustannustehokkuus.

Tärkeää tuotekehitysprosessissa on, että konseptointi (suunnitelma tuotteen toiminnallisista lähtökohdista ja toteutettavuudesta) tehdään hyvin. Lähtökohdat tuotteen tekniselle suunnittelulle määritellään jo tässä vaiheessa. Se, että jo konseptivaiheessa kaikki osapuolet ja näkökulmat huomioidaan, on tärkeää. Merkittävä osa tuotteen lopullista kustannuksista määritetään konseptisuunnittelussa, koska alussa on pakko tehdä kauaskantoisia päätöksiä. Projektin myöhäisimmissä vaiheissa kustannusten pienentäminen on erittäin vaikeaa. Arviolta jopa 90 % tuotteen tuotantokustannuksista määritellään tuotekehitys- ja tuotesuunnitteluvaiheessa. (Pere, 2016)

2.4.1 DFM - Design for Manufacturing

DFM pyrkii suunnitteluprosessissa tuotetta yksinkertaistamalla takaamaan toimivan ja tehokkaan valmistettavuuden. Näitä keinoja ovat muun muassa komponenttien määrän vähentäminen, tai toleroinnin minimointi. Suunnittelussa kiinnitetään ennakoivasti huomiota tuotteiden valmistettavuuteen, tällä vaikutetaan ratkaisevasti tuotteen kehitysoikeuden onnistumiseen. (Pere, 2016)

Ensimmäisenä tulee varmistaa valmistusmenetelmän saatavuus ja käytettävyys. Myös rakennemateriaalien soveltuvuus valitulle valmistusmenetelmälle tulisi varmistaa. DFM:ssä täytyy myös varmistaa valmistusmenetelmien laitteistojen rajoitukset ja suunnitella tuote, joka pystytään valmistamaan sujuvasti näillä valmistusmenetelmillä ja laitteistolla. Huomioon pitää suunnittelussa ottaa myös valmistusmenetelmien mittatarkkuus ja tasalaatuisuus eli laaduntuottokyky. Itse valmistuksen suunnittelussa voidaan vaikuttaa tuotannon nopeuteen ja materiaalihukan minimoimiseen. (Pere, 2016)

2.4.2 DFA - Design for Assembly

DFA:n tavoitteena on varmistaa, että tuotteen kokoonpano on helppo, nopea ja kustannustehokas. Tuotteen kokoonpantavuuteen vaikuttavat tekijät on otettava huomioon jo suunnittelun alkuvaiheessa ja konseptisuunnittelussa. (Pere, 2016)

Yksinkertaisia ja kokoonpantaessa itsensä paikoittavia rakenteita on hyvä suosia. Näiden kanssa voidaan asennusta helpottaa yhdenmukaistamalla ja karsimalla asennussuuntia. Yksittäisten osien määrää vähentämällä ja käyttämällä yksinkertaisia liitosmenetelmiä

sekä standardoituja osia, voidaan tehdä kokoonpanosta vieläkin yksinkertaisempaa ja helpompaa. Näillä periaatteilla tuotteen valmistus- ja kokoonpanoprosessia voidaan yksinkertaistaa ja lopputuotteen laatua parantaa. (Pere, 2016)

2.5 Ohutlevytuotteen suunnittelu

Tietoiset suunnitteluratkaisut ja prosessin perinpohjainen ymmärtäminen takaavat sujuvan ja tehokkaan valmistuksen tarjoamalla viimeistellyt tuotteet ja välttämällä samalla vaikeita tai vaikeasti valmistettavia ominaisuuksia.

Valmistukseen tarvittavien työkalujen ja vaiheiden määrän minimoimiseksi kaikkien taivutusten säteiden tulisi olla samoja. Nyrkkisääntö on sisäpuolisen taivutussäteen valinta, joka tulisi vastata vähintään materiaalin paksuutta. Tämä pätee useimpiin paksuus- ja materiaaliluokkiin. Eri säteiden käyttäminen samassa tuotteessa vaatii enemmän työkaluja, josta seuraa prosessin monimutkaistuminen ja tuotteen kokonaishinnan nousu.

2.5.1 Päätösmatriisi

Päätösmatriisimenetelmä tai Pugh-menetelmä on melko yksinkertainen ja on osoittautunut tehokkaaksi vaihtoehtoisten konseptien vertailussa. Yksinkertaistettuna menetelmä tarjoaa keinon pisteytykseen, jossa verrataan jokaisen vaihtoehdon kykyä täyttää kriteerit suhteessa muihin. Pisteytyksen vertaaminen tällä tavalla antaa käsityksen parhaista vaihtoehdoista ja hyödyllistä tietoa päätöksenteossa. (Ullman, 2010 s.222)

Tärkeys-sarakkeella voidaan kuvata optimointi-ideoista johtuvien muutosten suhteellinen merkitys. Tällä menetelmällä voidaan taulukossa ilmoittaa, mitkä kriteerit ovat tärkeämpiä ja mitkä vähemmän tärkeitä. Usein suhteellinen merkitys kannattaa mitata eri tavoitteille eri tärkeyksillä. (Ullman, 2010 s.222)

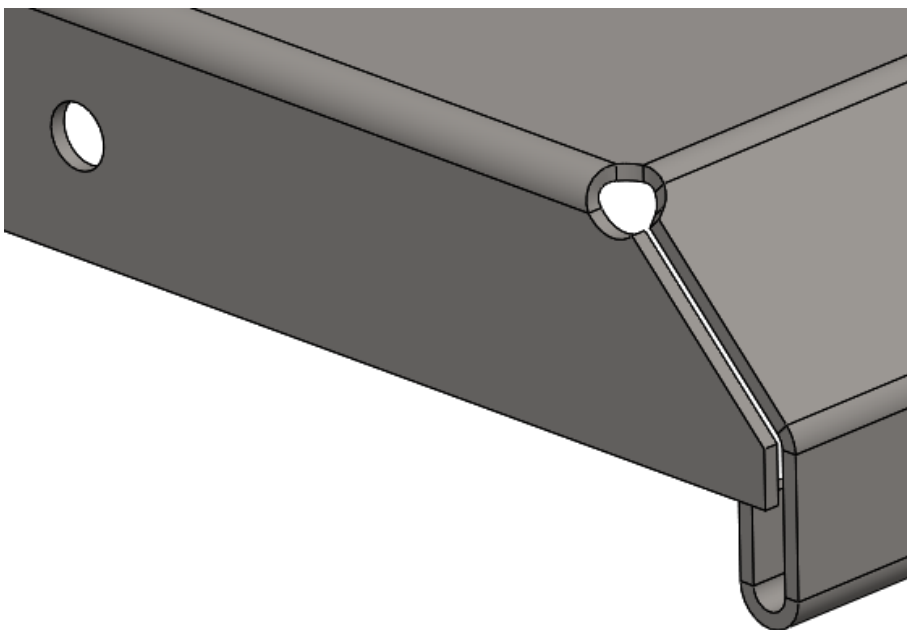
Jokaisessa vertailussa arvioitava käsite arvioidaan joko paremmaksi kuin, suunnilleen samaksi tai huonommaksi kuin vertailun peruspiste. Jos se on parempi kuin peruspiste, annetaan konseptille ”+”-piste. Jos sen arvioidaan olevan suunnilleen sama kuin peruspiste tai vain pientä eroa on havaittavissa, annetaan ”0”. Jos käsite ei täytä kriteereitä yhtä hyvin kuin peruspiste, sille annetaan ”-”-piste. (Ullman, 2010 s.222)

Tulos on plusmerkkien ja miinuspisteiden yhteen laskettu arvo. Tämä on arvio päätöksentekijöiden tyytyväisyysvaihtoehtoon. Painotettu tulos voidaan myös laskea. Tämä on kunkin pistemäärän summa kerrottuna tärkeyspainolla, jossa 0 lasketaan kertoimeksi 0, +1 kertoimeksi +1 ja -1 kertoimeksi -1. Sekä painotettua että painottamatonta tulosta ei saa pitää absoluuttisena mittana konseptin arvosta tai toimivauudesta; nekin ovat vain suuntaa antavia (Ullman, 2010 s.222)

2.5.2 Suunnitteluratkaisuiden vaikutukset

Meistettävät urat tulisi tehdä mahdollisimman suurella säteellä, jos säde ei ole ratkaiseva komponentin ominaisuuksien kannalta. Tuotteen yhdelle ominaisuuden tekevälle prosessille tarkoituksella tehtyjen työkalujen hankkimista tulisi välttää. Jos prosessille räätälöityjä työkaluja tarvitaan, komponentin hinta nousee.

Taivutettavilla kappaleilla ei tulisi myöskään olla liian kaltevia reunoja tai suuria säteitä. Tämä saa aihion liukumaan taivutuksen aikana. Terävät kulmat helpottavat laipan taipumista. Taivutettavan laipan reunan tulee olla suora ja yhdensuuntainen taivutusviivan kanssa. Tämä auttaa sijoittamaan ja kiinnittämään taivutettavan kappaleen oikein taivutusta varten. Jos taivutus vaatii erityisen kiinnittimen vaadittujen toleranssien täyttämiseksi, tekee se jälleen prosessista kalliimman. Kahta taivutusta samaan suuntaan eli U-muotoon on usein vaikea toteuttaa. Syvät U-muodot ovat epäedullisia, mutta niitä voidaan jossain määrin valmistaa U-muotoja varten muotoilluilla painintyökaluilla. (Gillberg & Sandberg, 2017)



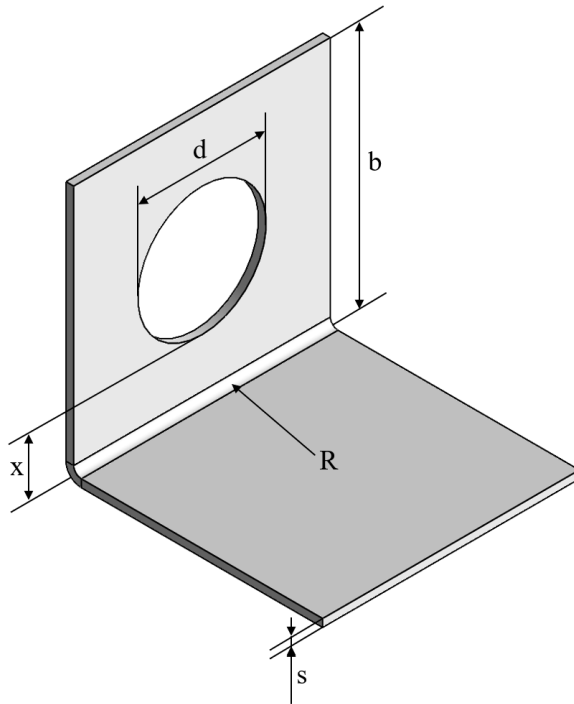
Kuva 9. Kulma laatikon kannessa, jossa on käytetty ympyrän muotoista päästöä tai helpotusta taivutuksen laadun parantamiseksi ja valmistamisen helpottamiseksi.

Nurkkien, eli taivuteltavan kappaleen kohtien, jossa kaksi taivutusta kohtaa toisensa, tulisi harkita helpotusten tai toisin sanoen päästöjen käyttöä. (ks. Kuva 9.) Ilman helpotuksia voivat huolimattomasti mitoitettut kulmat aiheuttavaa repeämisiä ja ei haluttuja muutoksia geometriassa, kuten kulmien kohoamisia. Kulmahelpotuksia voidaan käyttötarkoituksesta riippuen tehdä monia erilaisia ja kokoisia. (Matilainen ym. 2011 s.259)

Lähellä reunaa sijaitsevilla taivutuksissa on käytettävä taivutus- ja kulmapäästöjä. Taivutuspäästö voi olla pieni tasku tai reikä, joka on leikattu taitetun osan laitaan viereisen reunan repeämän ja osan irtoamisen estämiseksi. Päästön tulee olla vähintään kooltaan kaksi kertaa materiaalipaksuus. Malleja, joissa on lyhyet taivutukset tulisi välttää. Laipan pituuden on ulotuttava taivutuksen vastakappaleen reunojen yli. (Gillberg & Sandberg, 2017)

Reikien ja lovien paikoituksessa tulee kiinnittää huomiota, ettei niitä sijoiteta liian lähelle taivutuslinjaa. Koska taivutuksen kokemassa kohdassa tapahtuu venymistä ja puristumista, liian lähelle taivutuksia mitoitetuissa rei'issä saattaa ilmetä vääristymiä, kuten venymistä ja sijainnin muutoksia. Reikien ja lovien sijoittamisessa minimietäisyytenä taivutuslinjasta voidaan laskea kuvan ja kaavan (1) avulla. Vaihtoehtoisena tapana on valmistaa reikä taivutusprosessin jälkeen. Koska tämä

edellyttäisi lisää tuotantovaiheita, on halvempaa ja tehokkaampaa, että reiät tehdään suoraan taivutusaihioon ennen taivutuksia aihion tekovaiheessa. (Matilainen ym. 2011 s.258)



Kuva 10. Taivutuksen tuomat rajoitukset reikien mitoittamiseen (Matilainen ym. 2011 s.258)

$$x = \sqrt{d \cdot s} + 0,8 \cdot R \cdot \sqrt{\frac{b}{d}}, \quad (1)$$

missä x on reiän pienin sallittu etäisyys taivutuksesta [mm]

d on reiän halkaisija [mm]

s on taivutettavan materiaalin paksuus [mm]

R on taivutuksen säde [mm]

B on taivutettavan osan pituus [mm]

(Matilainen ym. 2011 s.258)

Esimerkkinä uuden laatikon mallin sivuseinän osan taivutuksen arvoilla (ks. Kuva 10.):

$$x = \sqrt{5,5 \text{ mm} \cdot 1 \text{ mm}} + 0,8 \cdot 1,5 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{30 \text{ mm}}{5,5 \text{ mm}}} = 5,14 \text{ mm}$$

Lävistettyjen tai laserleikattujen reikien halkaisijan on oltava vähintään materiaalipaksuus. Reikien halkaisijan ollessa pienempi kuin materiaalipaksuus, lyhenee valmistettavan metallilevyn ja reiän tekemiseen käytetyn lävistimen käyttöikä. Pienissä rei'issä tarvitaan suurempaa lävistysvoimaa ja laserleikkausreiät voivat aiheuttaa leikatun materiaalin sulamisen. Kahden reiän välisen etäisyyden on oltava vähintään kaksi materiaalipaksuutta. Reikien lävistäminen liian lähelle toisiaan voi johtaa materiaalin muodonmuutokseen reikien välillä. Hyvän etäisyyden jättäminen reikien välille varmistaa myös kappaleen rakenteellisen lujuuden. Liian lähellä olevat laserleikkausreiät voivat johtaa materiaalin tarttumiseen toisiinsa, koska laser toimii erään kuin hitsinä, jos leikkauksien väli on liian kapea. Reiän ja reunan välisen etäisyyden tulee myöskin olla vähintään materiaalipaksuus, mutta tässä kannattaa suosia ainakin 1,5 materiaalipaksuuden mittaista etäisyyttä. Reiän lävistäminen liian lähelle reunaa voi johtaa reunan muodonmuutoksiin. Jos reikä on liian lähellä reunaa, myös kappaleen rakenteellinen lujuus vähenee. (Gillberg & Sandberg, 2017)

Käsiteltävien kappaleiden kaikkien kulmien ja reunojen tulee olla aina pyöristettyjä. Tarkoituksena on estää käyttäjiä, tuotanto- ja kokoonpanohenkilöstöä loukkaantumasta teräviin reunoihin.

2.5.3 Ohutlevysuunnittelu taivutukset huomioon ottaen

Suunnitellessa metallilevytuotteita, jotka halutaan valmistaa taivuttamalla, on hyödyllistä tietää, miten suunnittelulla voidaan helpottaa valmistusprosessia ja miten voidaan välttää epäedullisia ratkaisuja tälle valmistusmenetelmälle. On esimerkiksi olemassa tiettyjä geometrioita, joita voi olla mahdotonta valmistaa halutulla menetelmällä. Lisäksi voidaan jo suunnitteluvaiheessa ottaa huomioon ratkaisut ja strategiset valinnat, joilla voidaan taata mahdollisimman kustannustehokas ja helposti valmistettavan komponentin. Tätä periaatetta käydään läpi seuraavissa kappaleissa. Näin voidaan suunnitella halutulle valmistustavalle paras mahdollinen tuote.

2.5.4 Huomioon otettavat ominaisuudet kappaleissa

Joidenkin asioiden huomioon ottaminen suunnittelussa saattaa auttaa valmistettavien kappaleiden yksinkertaisuuden. Taivutettaessa painimalla osaa eri muotoon, tulee aina ilmenemään jonkin verran takaisinjousto. Takaisinjouston määrä kasvaa materiaalin paksuuden kasvaessa ja taivutuksissa, joiden kulma on alle 90°. Tätä pienemmän kulman

taivutukset ovat siten vähemmän tarkkoja ja taivutettavan osan geometrian toleransseja on vaikeampaa saavuttaa. Näistä mitoitus- ja tolerointiongelmista voi seurata lisäkustannuksia. Pienempi taivutussäde lisää taivutuksen tarkkuutta, mutta lisää myös taivutuksen räsytystä. (Gillberg, Sandberg, 2017)

Yhden tai useamman vahvistusosan painaminen taivutukseen prosessin aikana vähentää takaisinjoustoja ja jäykistää taivutusta. Nämä asiat pitäisi pitää mielessä, kun ollaan asettamassa tiukkoja toleransseja kohtisuoriin reunoihin. Jos tarvitaan taivutukselle tasainen reuna, jyrästä tai muu vastaava prosessi voidaan suorittaa taivutuksen jälkeen. (Gillberg & Sandberg, 2017)

Komponenttien symmetristä tekemistä tuli harkita manuaalisten virheiden välttämiseksi tuotannon aikana. Tällöin on mahdotonta kääntää osa väärinpäin. Vaihtoehtoisesti taivuteltavista kokoonpanon osista voi tehdä mahdollisimman epäsymmetrisiä ja täten ainutlaatuisia, mikä tekee selväksi, kuinka taivutukset sijoitetaan osaan tai kappale kokoonpanoon. (Gillberg & Sandberg, 2017)

2.5.5 Toleranssit ja vakio-osien käyttö

Toleranssit ovat usein liian tiukkoja eikä niitä aseteta aina tehokkaimmalla tavalla. Tämä voi joissakin tapauksissa johtaa liikatarkkuuteen, mikä voi johtaa tarpeettoman korkeisiin kustannuksiin. Tärkeiden toleranssien määrittäminen nopeuttaa valmistusprosessia.

Reikäkuvioissa tai pareissa voi paikoituksen toleransseja helpottaa mitoittamalla yhden tai useamman reiän isommaksi. Tämä sallii helpommin valmistettavan komponentin. Reiät kannattaa toleroida tarkasti toisiinsa nähden, eikä yksitellen eri referensseistä. Myös taivutuksen yli tehtäviä mitoitusreferenssejä kannattaa välttää, koska pieni virhe taivutuksen kulmassa aiheuttaa mitoitusvirheitä. Pienet muutokset geometriaan tai reikäkuvioon mahdollistaa standardiosan käytön tai saman osan käytön useaan kertaan. Tämä auttaa lisäämään tietyn osan lukumäärää, mikä puolestaan voi vähentää kokonaiskustannuksia, kun enemmän osia voidaan tilata kerrallaan. (Gillberg & Sandberg, 2017)

Vakio-osien suosiminen yleensä kannattaa kustannustehokkaassa suunnittelussa. Myös tuotteen uudelleensuunnittelussa on hyvä ottaa huomioon voisiko vanhan mallin toimivaksi huomattuja osia ja materiaaleja käyttää hyväksi myös uudessa mallissa.

Näiden osien ja materiaalien toimitusketjut, ominaisuudet ja soveltuvuus ovat jo tuttuja ja vähentävät silloin kokonaiskustannuksia ja suunnittelussa tehtävää taustatyötä. Samaa periaatetta voidaan soveltaa käyttämällä yrityksen muiden tuotteiden osia ja materiaaleja.

Oikean ja vasemman peilaamista voi myös yrittää sisällyttää suunnitteluun, jotta molemmille voidaan käyttää samaa aihiota. Aihioden koon suunnittelussa kannattaa ottaa huomioon myös metallilevyjen ja kelojen käytettävissä olevia vakioimittoja, sillä aihioden käyttäminen standardimittojen ulkopuolella aiheuttaa lisäkustannuksia. Tämä pätee erityisesti käytettäessä metallilevyjä. Suunniteltavan kappaleen osissa onkin käytetty ennen tavallisimpiin levymittauksiin kuuluvat 2500x1250 levykokoa, jonka koko on otettu huomioon uuden mallin aihioden koon suunnittelussa. Aihiokokojen mitat on optimoitu siten, että niitä saadaan mahtumaan mahdollisimman suuri määrä levyaihiolle, ilman että valmiin tuotteen toiminnallisuus kärsii.

2.6 Tuotannon suunnittelu

Yhtenä lähtökohtana suunnitteluprosessin alussa täytyy huomioida, miten suunniteltava kappale on valmistettavissa valituilla tuotantomenetelmillä. Valmistettavuus on suunnittelua ohjaava tekijä, koska se rajoittaa mahdollisia ratkaisuja. Valmistettavuuden optimointi voi olla asia, joka ratkaisee koko tuotteen kaupallisen kannattavuuden. Suunnittelun tuotoksen toimivuudella ei ole merkitystä, ellei sitä voida valmistaa tai sen valmistus onnistuu vain tarpeettoman korkealla hinnalla. Kun valmistettavuus otetaan huomioon jo ennen suunnittelun aloittamista, on sillä suuri vaikutus koko tuotantoprosessin kokonaiskustannuksiin. Suunnitteluprosessin alkaessa tehdyt päätökset muodostavat merkittävän osan tuotteen kokonaistuotantokustannuksista. Suunnittelumuutokset myöhemmin valmistusprosessissa voivat olla erittäin aikaa kuluttavia ja kalliita, varsinkin jos tuotetta ollaan tuottamassa suuria määriä. (Ramama & Rao, 2005).

Taivutus on yleensä halpa ja joustava valmistusmenetelmä pienissä tuotantoerissä. Pienet muutokset malliin voidaan myös suhteellisen helposti sisällyttää jo olemassa olevaan malliin ilman suuria muutoksia tuotannossa. Tuotantokustannusten arviointi ei ole yksinkertaista, ja se vaatii sekä prosessien tuntemusta että kokemusta. Mikä menetelmä on kustannustehokkain, riippuu suuresti tuotantomäärästä. Eri valmistusmenetelmissä on kuitenkin muita eroja ja etuja. (Tang, Li, Zheng, 2001 s. 193–200.).

2.6.1 Takaisinjousto

Kun metallilevyn alkuperäinen muoto deformoituu taivuttamalla ja/tai puristamalla, palautuu kappale hieman kohti alkuperäistä muotoaan taivutusprosessin loppuessa ja kuormituksen poistuessa. Tämä ilmiö tunnetaan nimellä takaisinjousto. Takaisinjouston syy on se, että työvälineen tuoman muokkaavan kuormituksen poistamisen jälkeen komponenttiin jäävä sisäinen jännitystila ei ole tasapainossa. Sisäinen jännitystila pyrkii pääsemään tasapainoon, ja tämä aiheuttaa elastisen muodonmuutoksen kohti alkuperäistä muotoa. (Ingarao & Di Lorenzo, 2010 s. 459–480.).

Valmiin kappaleen takaisinjouston määrä vaikuttaa valmiin kappaleen mittojen tarkkuuteen. Tämä voi vaikeuttaa valmistajan pääsyä suunnittelijoiden antamiin toleransseihin, johtuen juuri epävarmuustekijöistä takaisinjouston määrässä. Tiedossa kuitenkin on, miten materiaalin ominaisuudet sekä kappaleen ja prosessin parametrit vaikuttavat siihen, kuinka paljon takaisin joustoa tapahtuu. (Chatti & Hermi, 2011).

Prosessin parametreihin, jotka vaikuttavat takaisinjoustoön, kuuluvat muun muassa voiteluolosuhteet, voima, jolla aihiota painetaan, materiaalin paksuus, muotin muoto ja aihion koko. Materiaalin ominaisuudet, jotka vaikuttavat palautumiseen, ovat muun muassa myötöraja ja kimmokerroin. (Gau & Kinzel, 2001).

2.6.2 Ohutlevyn geometrinen vahvistaminen

Yksi tapa vähentää ohutlevykomponentin painoa ja siten kustannuksia, on vähentää kappaleen materiaalipaksuutta. Tämä kuitenkin vaikuttaa komponentin lujuuteen ja jäykkyyteen negatiivisesti. Tätä ongelmaa voidaan kiertää deformaamalla vahvistus- tai jäykistämiskeometrioita ohutlevyyn esimerkiksi venyttämällä, taivuttamalla tai painamalla. Paikallisia pinnanmuutoksia rakenteessa voidaan kutsua esimerkiksi uriksi tai kohokuvioiksi. (Gillberg & Sandberg, 2017) Niillä voidaan pyrkiä parantamaan esimerkiksi levyrakenteen akustiikkaa, kasvattamaan jäykkyyttä ja lujuutta tai vähentämään tärinää. (Alshabtat 2011, s.38)

Siksi on tärkeää harkita, voidaanko kyseisiä ominaisuuksia sisällyttää rakenteeseen helposti tuotannollisesta näkökulmasta. Olisi myös hyvä ymmärtää rakenteen kokonanon ominaisuuksien, tuotannon ja materiaalien mahdolliset vaikutukset

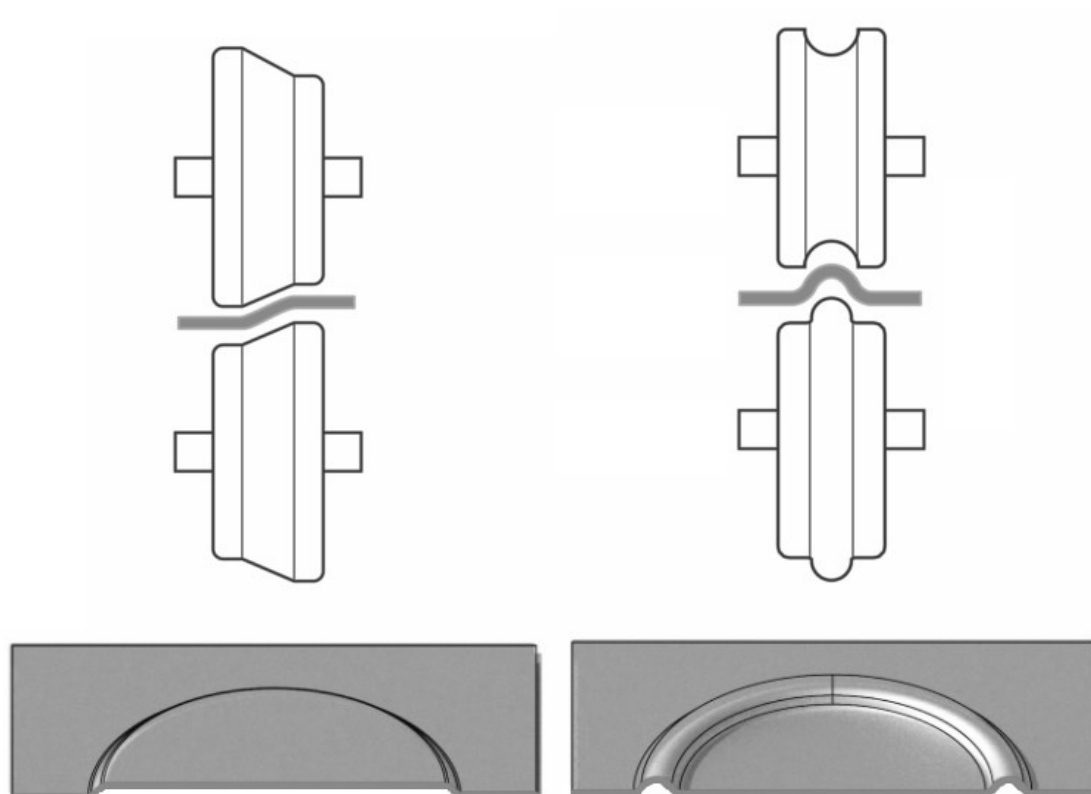
valmistusprosesseihin, ja ottaa huomioon näistä johtuvat tarpeet ja rajoitukset. (Alshabtat 2011, s.38)

Saavutettuun jäykkyyteen vaikuttavat urien ja kuvioden sijoittelu ja geometria. Rajoituksia optimaaliselle sijoittelulle ovat käytettävissä oleva valmistustekniikka, jonka puutteista voi koitua vaihe aikojen ja kokonaiskustannuksien kasvua. Jotkin tekniikat mahdollistavat vapaan sijoittamisen, jopa päällekkäisten kuvioden sijoittamisen. (Avalle 2011, s. 31–45.).

2.6.3 Jäykistekuviointi

Urat ja kolot voidaan luoda tasaiselle levyille rullaamalla tätä ominaisuutta varten tarkoitetulla rullatyökalulla (Eng. Bead rolling, Offset wheel). Yleisesti ottaen rullaaminen ja kohokuviointi (eng. Rib, Embossing/Debossing) (ks. Kuva 11.) on metallin muokausprosessi, jota käytetään piirteiden ja kuvioden painamiseen metalliosan pintaan. Kohokuviointiprosessi voi käytännössä olla vain pienen kuvion painaminen työkappaleen pintaan tai toisessa ääripäässä voidaan kuvioda koko pinta yksityiskohtaisesti lujuuslaskelmien ja ominaistajuuksien perusteella suunniteltujen kuvioden perusteella. (Alshabtat 2011, s.38)

Rullatyökaluilla on mahdollista muodostaa levyyn halutun muotoinen ura. Työkalu asennetaan indeksoivaan eli kääntyvään työkalupaikkaan eli revolveriin, jossa työkalun käännöt seuraavat levyn liikkeitä. Eri muotoisilla työkaluilla saadaan aikaan erilaisia uran tai kuvion poikkileikkausprofiileja. Rullatyökalulla luoduilla ominaisuuksilla voidaan esimerkiksi jäykistää levyä tai muovata levyn reuna sopivaksi päällekkäisliitokselle. (Mäki-Mantila 2001, s. 52–53.)



Kuva 11. Erilaisia rullatyökaluja. Asiakkaan levytyökeskuksessa on vasemmanpuoleinen rullatyökalu (eng. Offset wheel).

Edellä mainitun prosessin periaatetta voidaan yksinkertaistettuna kuvata tapahtumalla, jossa pala metallilevyä muokataan haluttuun muotoon, esimerkiksi painamalla levyyn halutun muotoisia kuvioita tai taitamalla levyä. (Alshabtat 2011, s.38)

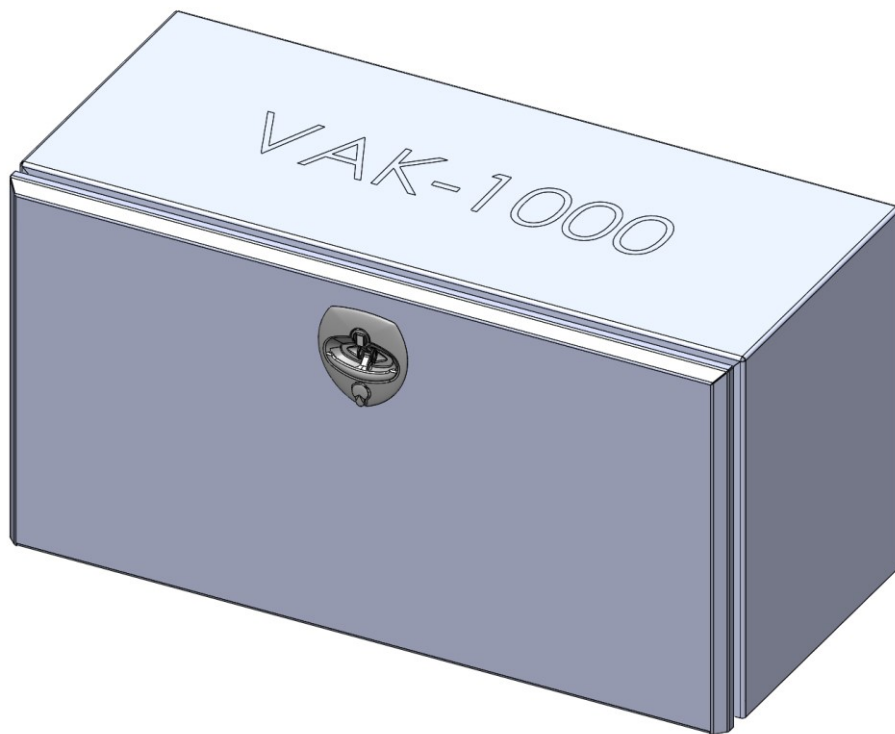
Jäykistekuvion tai urien luomisella levymäisen rakenteen pinnalle on merkittävä rooli sen taivutusjäykkyyden kasvattamisessa ja värähtelymoodien muuttamisessa. Näin ollen se muuttaa levyn luonnollisia taajuuksia. Jäykistekuvion tai urien luominen levyn pinnalle suurten modaalisten rasiusten alueita lähelle lisää merkittävästi levyn luonnollista taajuutta. (Alshabtat 2011, s.202)

Li:n Vuonna 2010 jäykällä ohutlevysäiliöllä tehdyt testit osoittavat, että parhaat tulokset saadaan, mitä suurempi määrä uria on ja mitä tiheämmin ne on sijoitettu toisiinsa nähden. Parempia tuloksia saatiin myös, jos kuviot olivat leveämpiä, syvempiä ja suuremmalla materiaalipaksuudella. Nämä edellä mainitut ominaisuudet tuottivat pienimmän maksimisiirtymän ja -rasituksen. (Li ym. 2010).

3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

3.1 Työkalulaatikon nykytilan tarkempi analysointi

Vaikka projektin tavoitteena onkin suunnitella työkalulaatikko käytännössä kokonaan uudestaan, täytti laatikon nykyinen malli tehtävänsä asiakkaan kokemusten ja laatikosta saadun palautteen perusteella varsin hyvin. Tarve tuotekehitysprojektille tulikin melkein täysin tuotannollisesta näkökulmasta. Työkalulaatikon nykyinen kokoonpano koostuu tällä hetkellä kahdesta isoja taivutuksia sisältävästä ohutlevyosasta ja pienempiä taivutuksia sisältävästä kansiosasta. Tämä valmis kokoonpano on esitettynä kuvassa 12.



Kuva 12. Työkalulaatikon nykyinen malli.

3.1.1 Nykyisen kokoonpanon esittely

Nykyisen laatikon valmistukseen käytettävillä tuotantokoneilla on valtavia tuotantopaineita ja painetta haluttiin purkaa siirtämällä laatikon tuotanto uudelle investoinnille, levytyökeskukselle. Tällä hetkellä laatikon osien aihiot leikataan laserleikkaustyöpisteellä, jonka jälkeen ne taivutellaan oikeaan muotoon särmäyskoneella.

Toisena haittana nykyisessä laatikon mallissa on sen kokoonpanon hitaus johtuen pääosin pitkistä hitsisaumoista, mutta myös monien erilaisten liitosmenetelmien takia. Tällä hetkellä käytetään kahta erillaista hitsausmenetelmää, vetoniittejä, ruuvi-mutteriliitosta, ja liimausta. MIG/MAG-hitsausta käytetään pääosin laatikon osien liittämiseen toisiinsa, mutta myös laatikon tiivistämiseen (ks. Kuva 13–14.).



Kuva 13. Osien liittäminen takaa toisiinsa MIG-hitsauksella.



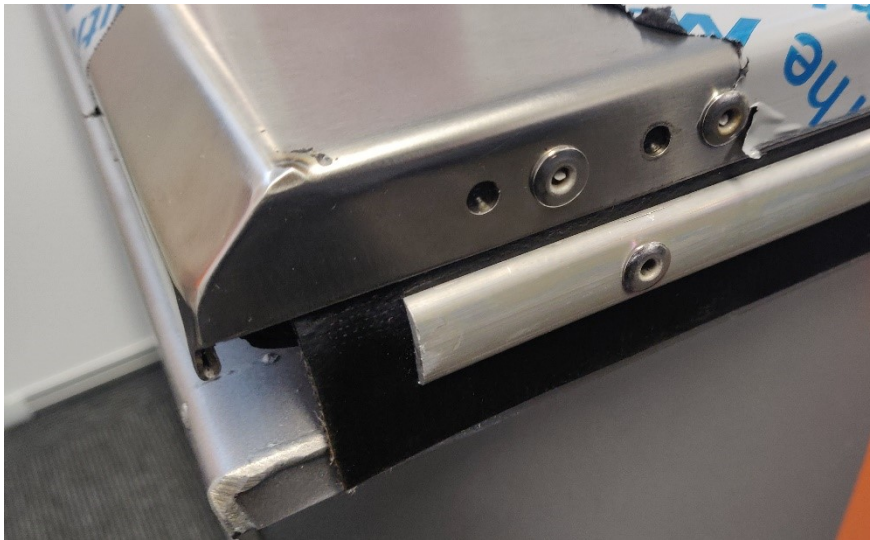
Kuva 14. Osien liittäminen edestä toisiinsa MIG-hitsauksella.

Asiakkaalle tärkeä kriteeri nykyisessä kokoonpanossa on myös laatikon ulkonäkö. TIG-hitsausta käytetään vain kannessa, koska sillä saadaan huomattavasti parempaa jälkeä visuaalisesti ja rakenteellisesti kuin MIG/MAG-hitsausta käytettäessä. Vaikka TIG-hitsauksella saataisiin laadukkaampaa hitsiä ohutlevyä hitsattaessa, sen käyttö koko laatikon hitsaussaumoihin ei olisi käytännöllistä, koska se on paljon hitaampaa kuin MIG/MAG-hitsaus, varsinkin kun laatikossa on paljon pitkiä piiloon jääviä hitsisaumoja. TIG-hitsauksen käyttö kannessa on kuitenkin perusteltua, koska kanteen eri tarvitse tehdä pitkiä saumoja ja pääpaino näillä saumoilla on ulkonäöllä. Valmis kansi on esitettynä kuvassa 15. Hitsisaumat hiotaan ja kiillotetaan vielä hitsaamisen jälkeen, jolla saavutetaan kuvan 15. mukainen tulos.



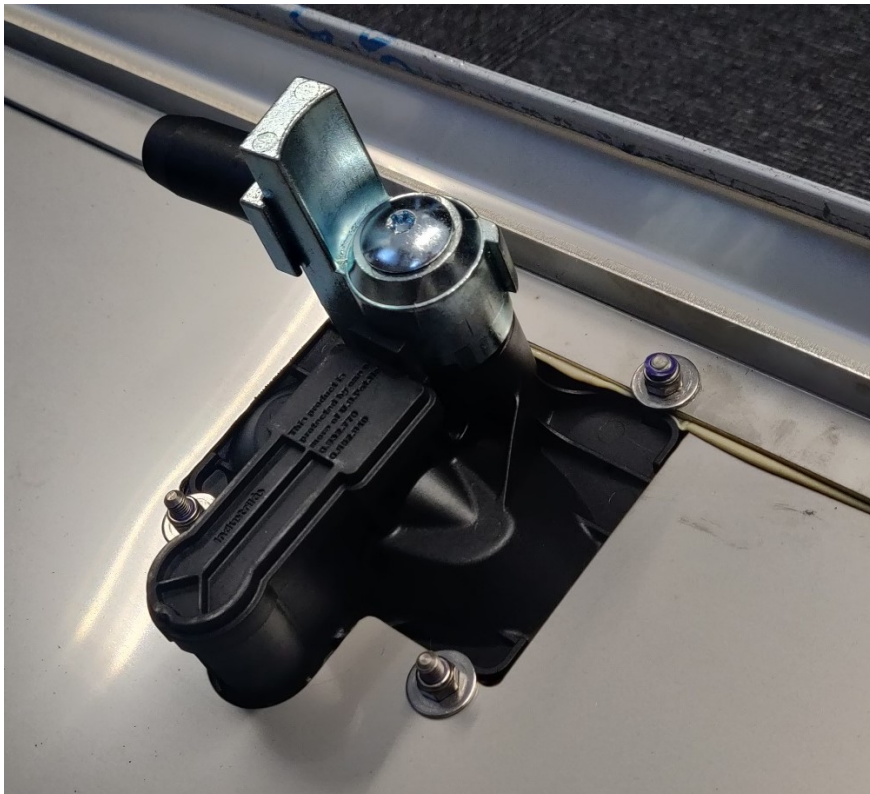
Kuva 15. Nykyisen mallin kannen nurkka, jossa on käytetty TIG-hitsausta.

Kannen kiinnitys ja samalla saranamekanismi on toteutettu ohutta kuljetinmattoa ja vetoniittejä avuksi käyttäen. Tämä mekanismi on esitettynä kuvassa 16 ja myöhemmin avoimena kuvassa 18. Tämä toteutusmalli on ollut asiakkaalla pitkään käytössä ja se on todettu toimivaksi. Mekanismin toimivuus on sen yksinkertaisuudessa ja muokattavuudessa. Hihnaa voidaan leikata aina oikean mittainen pala, jolloin saadaan tiivis ja kestävä sauma riippumatta laatikon mitoista.



Kuva 16. Nykyisen mallin saranamekanismi.

Lisäksi kannen sisäpuolella on käytetty lukkomekanismin ja jäykistepalan kiinnitykseen ruuvi-mutteri-liitosta, ja liimausmassaa. Lukon kiinnitys tapahtuu kannessa ja jäykiste palasessa sijaitsevista rei'istä ja lukko-osan kierretapeista. (ks. Kuva 17.) Muttereihin laitetaan vielä kiinnityksen varmistukseksi kierrelukitetta. Jäykistepala on esillä myöhemmin vielä kuvassa 18. Tähän jäykistepalaan kiinnitetään lisäksi nylon-remmit, joilla saadaan kannen aukemaista rajoitettua. Tämänkin on esitettyä tarkemmin kuvassa 18.



Kuva 17. Nykyisen mallin lukitusmekanismi.

Kokonaisuudessaan kokoonpano vielä tällä hetkellä on täysin toimiva ja tuotanto pystyy vastaamaan tuotteen kysyntään. Tulevaisuudessa on kuitenkin todennäköistä, että tuotantomääriä tullaan kasvattamaan ja tämän takia kokoonpanon uudelleensuunnittelu- ja tuotekehitysprosessi päätettiin aloittaa nyt. Nykyisestä mallista voidaan hyödyntää suuri osa jo valmiiksi testattuja ja toimivaksi todettuja ratkaisuja. Osaa nykyisen mallin komponenteista asiakas myös halusi käytettävän uudessa mallissa. Esimerkkinä tästä on lukitusmekanismi, jonka asiakas on kokeilemalla erilaisia mekanismeja saanut toimivaksi. Kuvassa on 18. hyvin esillä miten laatikon kansi ja tämä edellä mainittu lukitusmekanismi toimii.



Kuva 18. Nykyinen malli kansi avoinna.

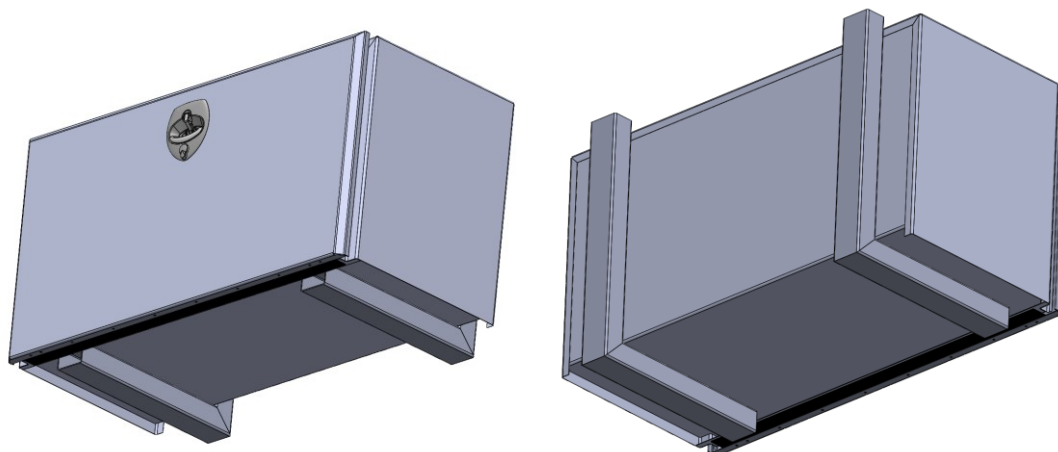
3.1.2 Laatikon kuormitus ja kiinnitys

Käytössä laatikko kokee lähinnä epäsäännöllistä, mutta jatkuvaa tärinää, jota syntyy ajossa. Välillä myös maanteilla olevia irtonaisia kappaleita, kuten pikkukiviä, voi osua kovallakin vauhdilla laatikon pintaan. Tämä johtuu laatikon sijainnista, joka on lähellä

maanpintaa renkaiden läheisyydessä. Näitä kuormituksia ei kuitenkaan ole huomioitu suurissa määrin laatikon suunnittelussa, koska esimerkiksi laatikon materiaalit pysyvät samana ja asiakas on todennut ne hyviksi ja edullisiksi. Jos nähdään tarpeelliseksi, kuormitusten kestävyyttä voidaan miettiä tarkemmin toisella tai kolmannella prototyyppikierröksellä, kun uudet tuotantomenetelmät on todettu toimiviksi ja varmistetaan niiden käyttöönotto tuotannossa.

Toinen asia, mihin työssä ei ole kiinnitetty suurta huomiota, on laatikon kiinnitys ajoneuvon tai perävaunun runkoon. Asiakkaalla on kaksi kiinnittämistapaa, joita käytetään miltei kaikissa laatikoissa. Ensimmäinen tapa on laatikon kiinnitys yksinkertaisesti suoraa runkoon laatikon takaseinään poratuista rei'istä.

Toisena kiinnitysvaihtoehtona on, että tehdään putkipalkista yksinkertaiset L-muotoiset tukirakenteet, jotka kantavat laatikon painoa kuten kuvassa 19. on esitetty. Nämä tukirakenteet hitsataan kiinni runkoon. Tätä menetelmää käytetään usein, jos laatikko on pitempi tai suurempi, sekä myös jos laatikossa on jotain painavaa. Tällä tavalla laatikon takaseinän kiinnityksien ei tarvitse kestää suuria kuormia.



Kuva 19. Laatikon kiinnityksen tukirakenteet edestä ja takaa.

Nämä kiinnitystavat on jo todettu asiakkaan toimesta toimiviksi, ja niiden käyttämättä jättämiselle ei ole mitään syytä. Tämän takia laatikon kiinnityksen suunnitteluun ei ole käytetty aikaa. Ainut asia mikä kiinnitykseen liittyen tulisi ottaa uudessa mallissa huomioon on, että laatikon pohjan ja takaseinän särmän pitää olla sellainen, että L-muotoisten tukirakenteiden kiinnitys onnistuu. Eli käytännössä takaseinä ei saa jatkua pohjatason yli.

3.1.3 Nykyisen mallin puuteet ja ongelmat

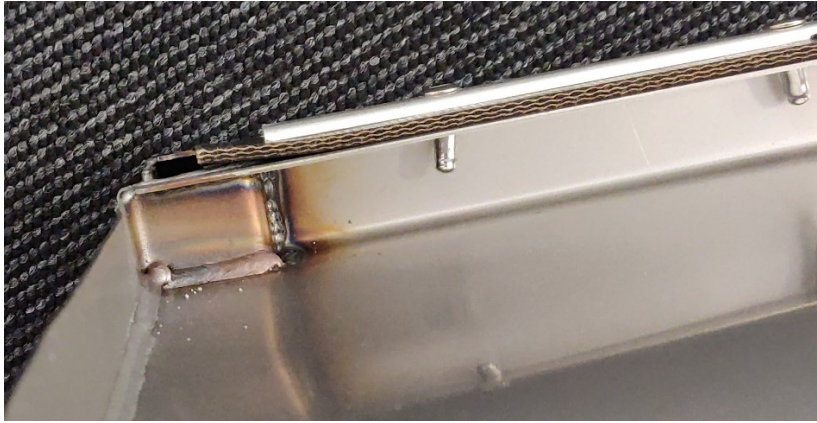
Vaikkakin laatikon uudelleensuunnittelu- ja tuotekehitysprosessi aloitettiin pääosin muuttuvien tuotanto-olosuhteiden takia, on nykyisessä mallissa havaittu muutamia puutteita ja ongelmia, mitä samalla voidaan yrittää ratkaista. Pääpaino uuden mallin suunnittelussa kuitenkin täytyy pitää tuotannon toimivuuden ja tiettyjen nykyisen mallin ominaisuuksien sisällyttämisessä uuteen mallin. Näitä ominaisuuksien ovat esimerkiksi dimensioiden pitäminen likimäärin samana, sekä samojen kiinnitysmetodien toimivuuden varmistaminen. Tarkasteltavaksi valittiin asiakkaan tekemien havaintojen ja saadun palautteen perusteella hitsisaumojen vähentäminen, laatikon jäykkyyden parantaminen, sekä kokoonpanoprosessin nopeuttaminen yleisellä tasolla kokoonpanon rakennetta muuttamalla.

Tärkeimpänä näistä parannuksista oli hitsaamisen määrän vähentäminen, koska se vaikuttaa myös kahteen muuhun parannuskohteeseen merkittäväällä tavalla. Pitkistä hitsisaumoista johtuva lämpö aiheuttaa suurille pinnoille muodonmuutoksia ja kupruilua. (ks. Kuva 20.)



Kuva 20. Nykyinen mallin takaseinän pitkät hitsisaumat.

Tämä ongelma vaikuttaa suoraan myös laatikon jäykkyyteen. Toisaalta hitsisaumoilla on myös positiivisia vaikutuksia jäykkyyteen. Nurkissa sijaitsevat hitsisaumat jäykistävät rakennetta, ja vaikutukset materiaaliin ovat pienemmät. Tällaisia saumoja on kuvassa 21.



Kuva 21. Laatikon etualakulmassa sijaitsevaa hitsisaumaa.

Kokoonpanon rakenne tulee todennäköisesti muuttumaan jo pelkästään vaihtuvien tuotantomenetelmien takia radikaalisti, joten samalla voidaan ottaa huomioon kokoonpanoprosessin parantaminen ja nopeuttaminen. Tätä voidaan lähteä ratkomaan esimerkiksi vaihtamalla hitsaaminen eri liitosmenetelmäksi. Tässäkin voidaan siis samalla yrittää ratkaista kahta eri ongelmaa yhtä aikaa, koska liitosmenetelmän vaihtuessa hitsaamisen määrä laskee huomattavasti.

3.2 Vaatimusten määrittely

Projektin asiakkaalla käytetään laserleikkausta monien eri tuotteiden osiin ja työssä suunniteltavan työkalulaatikon aihion valmistaminen halutaan siirtää vähemmän kuormitetuille tuotantomenetelmille. Lisäksi tuotteen taivutusten valmistus halutaan käyttää levytyökeskuksen vieressä sijaitsevaa levynkulmauskonetta, koska taivutuksissa ennen käytetty särmäyskone sijaitsee laserleikkauksen yhteydessä. Täten taivutuskoneen käyttö nopeuttaa tuotantoprosessia, koska aihioita ei tarvitse siirtää pitkiä matkoja yhden valmistusvaiheen takia. Ongelmana on, ettei tuotteen vanhan mallin valmistus onnistu uusilla halutuilla tuotantomenetelmillä. Tarkoituksena olisi suunnitella työkalulaatikko uudestaan halutuille tuotantomenetelmille ottaen huomioon asiakkaan vaatimukset ja toiveet. Samalla työkalulaatikkoon tehdään tuotekehitystä halutuissa ominaisuuksissa.

3.2.1 Asiakkaan muut toiveet

Tuotekehityksen tavoitteina laatikon seiniin ja kanteen halutaan lisääjäykkyyttä. Laatikko on kärsinyt myös hieman tiiveysongelmista, joten samalla myös laatikon tiiveyttä tulisi parantaa mahdollisuuksien mukaan. Koska hitsaaminen aiheuttaa muodonmuutoksia laatikon seiniin, sekä on samalla hidasta ja työlästä, vanhassa kokoonpanossa käytettävää

hitaamista pitäisi vähentää suunnitteluratkaisuilla. Tämä tulisi tehdä siten, ettei tiiveys kärsisi hitsisaumojen puuttumisesta.

Asiakas tarjoaa paljon eri kokoisia ja mallisia laatikoita, joten laatikon pitäisi olla helposti muovattava, eli mallin ratkaisut tulisi olla helposti muokattavissa erikokoisiin laatikoihin ja ratkaisujen tulisi toimia joka koolla. Lisäksi kannen ulkonäköä ei tulisi muuttaa ollenkaan. Tämän takia erillisenä osana alihankkijana tilattava lukko täytyy olla sama kuin vanhassa mallissa. Lisäksi toiveena oli, että jos on mahdollista, kannen suunnittelussa pitäisi huomioida, että uuden mallin kansi sopisi varaosana vanhan mallin laatikoihin.

3.2.2 Aihioon optimointi

Yhtenä asiakkaan toiveena oli myös ottaa huomioon valmistettavien osien aihion sopivuus asiakkaalla jo käytössä oleville levyaihioko'ille. Syynä on, että näiden standardilevymittojen omaavien tuotteiden toimitusketjut ovat jo asiakkaalla ennestään järjestettynä ja todettu toimiviksi ja kustannustehokkaiksi. Tämä oli kuitenkin vain otettava huomioon, jos mahdollista ja jos osien aihion sijoittelu ei onnistu järkevästi olisi aihionkokoja mahdollista tilata tarvittavilla mitoilla. Suunnittelussa kuitenkin pystyttiin huomiomaan nämä rajoitukset suunnittelemalla kokoonpanon sillä tavalla, että osien äärimittoja olisi mahdollista muokata.

3.3 Toteutusvaihtoehtojen karsiminen

Päätösmatriisimenetelmällä saadut vaihtoehtojen konseptien vertailutulokset ovat esitettyinä taulukoissa 1–3. Taulukoista on valittu parhaan pisteytyksen saaneet ratkaisut. Näiden ratkaisujen toteuttamista kuvaillaan tarkemmin kappaleessa 4.

Taulukko 1. Hitsaamisen vähentäminen

Hitsaamisen vähentäminen	Tärkeys [%]	Kokoonpanon muutosulkeisuus	Liitokset popniiteillä ja tiivisteliimalla	Liitokset piste-hitsauskesksillä	Liitokset liimaus	Liitokset pätkähitsillä
Kokoonpanoprosessin tehokkuus	15	1	0	1	1	-1
Valmistettavuus	20	0	0	0	0	0
Hitsaamisen määrä	25	1	1	-1	1	-1
Liitoksen pitävyys	20	0	1	0	-1	0
Muokattavuus eri kokoihin	20	0	0	0	0	-1
Tulos		2	2	0	1	-3
Painotettu tulos		40	45	-10	20	-60

Taulukko 2. Kokoonpanon rakenne

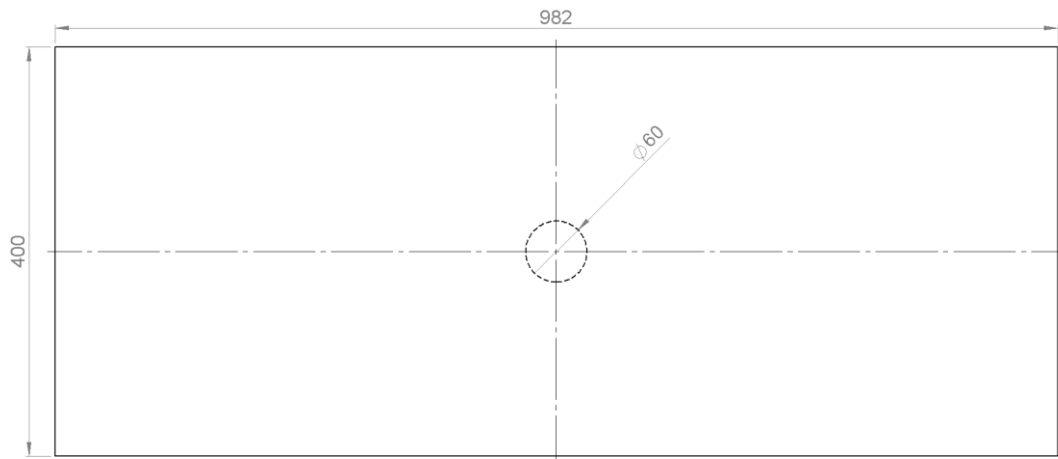
Kokoonpanon rakenne	Tärkeys [%]	Vanhan mallin muokkaaminen eri liitostavalle	Yksiosainen kokoonpano	Kolmiosainen L-muotoisista osista koostuva kokoonpano	Kolmiosainen kokoonpano	Jokainen seinä eri osasta
Tuotantoprosessin tehokkuus	15	0	0	0	0	0
Valmistettavuus	20	0	-1	0	0	-1
Päämittojen muutoksien välttäminen	25	1	0	1	1	1
Muokattavuus	20	0	-1	-1	1	-1
Yhteensopivuus vanhojen mallien/levyaihoiden kanssa	20	1	-1	0	1	1
Valmistus mahdollinen halutuilla tuotantomenetelmillä	100	0	0	1	1	1
Tulos		0	0	0	3	0
Painotettu tulos		0	0	5	65	5

Taulukko 3. Jäykkyyden parantaminen

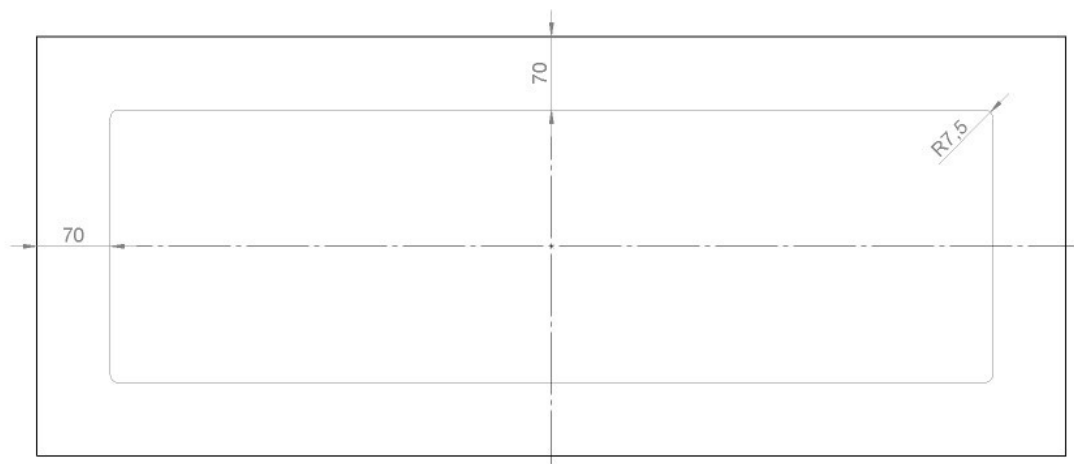
Jäykkyyden parantaminen	Tärkeys [%]	Painetut jäykistyskuviot laatikon isoille pinnoille	Tukirakenteiden lisääminen laatikon sisäpuolelle	X-kanttaus laatikon isoille pinnoille	Bombeeraus laatikon isoille pinnoille
Tuotantoprosessin tehokkuus	15	1	-1	0	1
Valmistettavuus	20	1	-1	0	0
Muutoksen tuoma jäykkyys	20	1	1	1	1
Kannen ulkonäön muutoksien välttäminen	25	0	1	0	1
Muokattavuus eri kokoihin	20	1	-1	-1	0
Valmistus mahdollinen halutuilla tuotantomenetelmillä	100	1	1	1	0
Tulos		4	-1	0	0
Painotettu tulos		75	-10	0	0

3.4 Jäykistekuviointi

Testien tarkoituksena on löytää paras jäykistekuvio laatikon isoille pinnoille. Tätä ratkaisua lähdettiin tutkimaan taulukon 3. perusteella. FEM-laskuissa tarkasteltiin laatikon yhtä jäykistettävää pintaa mitoiltaan muistuttavaa 1 mm paksua levyä, jonka muut dimensiot ovat kuvattuna kuvissa 12 ja 13. Ohjelmana käytettiin Solid Works 2019 Simulation-lisäosaa Materiaalina käytettiin samaa materiaalia (AISI 304 ruostumatonta terästä) kuin suunniteltavassa laatikossa olisi tarkoitus käyttää.



Kuva 22. Laskelmissa käytetyn mallin dimensiot.



Kuva 23. Alue, mille kaikki jäykistekuviot sijoitetaan.

Laskelmissa tarkoituksena ei ole kuitenkaan simuloida mitään laatikon oikeasti kokemaa kuormitusta, vaan pelkästään tuottaa vertailukelpoisia tuloksia erilaisten jäykistekuvioiden välille ja löytää kuvio, jolla saadaan jäykistettyä pintaa parhaiten. Laskelmissa kuvan 22. mukaisen levyn keskikohtaa kuormitetaan 100 N:n tasaisesti jaetulla voimalla 60 mm halkaisijan omaavan ympyrän alueelle. Vertailuarvona käytetään ilman kuviota kuormitettua levyä, jonka maksisiirtymään jäykistekuvioilla vahvistettuja levyjä verrataan. Jäykistekuvioita ideoidaan kokemuseräisesti kuusi erilaista, joiden kaikkien oletetaan jäykistävän pintaa jossain määrin. Kuviot on esitetty kuvissa 26–32. Tuloksista huomioon otettiin pinnan suurin siirtymä, mikä tapahtuu pinnan keskellä ja alaspäin pinnasta. Pienimmän siirtymän omaavat kuviot otetaan vielä jatkotarkasteluun, jossa kuvion mittoja optimoidaan tulosten parantamiseksi. Lisäksi tässä vaiheessa varmistetaan, että valitut kuviot voidaan valmistaa levytyökeskuksen työkaluilla

aihionvalmistusvaiheen yhteydessä. Lopullinen kuvio valitaan näiden tulosten perusteella.

3.4.1 Kuvioinnin rajoitukset

Ura tai kuvion suurin mahdollinen syvyys riippuu useista tekijöistä. Tässä prosessissa uran poikkileikkauksen muoto syntyy venyttämällä. Näin ollen mitä tasaisempi ja loivempi poikkileikkauksen muoto on, sitä helpompi se on muodostaa ja saada mahdollisimman syvä. (Alshabtat 2011 s.41–42)

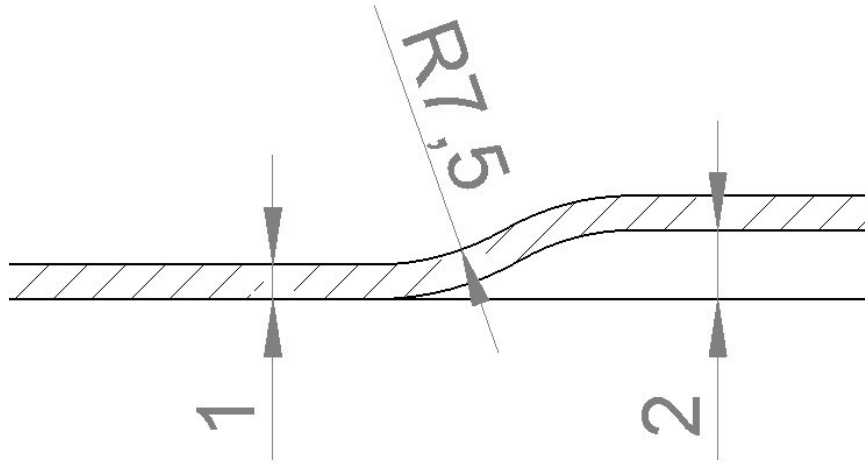
Suurin mahdollinen säde on optimaalisin, koska se mahdollistaa venymän tasaisimman jakautumisen. Kasvattamalla pyörityssäteitä venymien keskittyminen siis yhteen kohtaan pienenee. Tämän vuoksi on tärkeää kasvattaa pyörityssäteitä niin paljon kuin mahdollista. Pyörityssäteiden tulisi olla yli vähintään 1,5–2 kertaa levyn paksuudesta. Litteä teräväkulmainen ura on huonoin mahdollinen muotoilu, koska kun tasaisella pohjalla ei tapahdu venyttämistä ja kaikki venytykset keskittyvät seiniin ja tämän seurauksena seinämien halkeilun todennäköisyys kasvaa. (Alshabtat 2011 s.41–42)

Levyn paksuuden kasvaessa venytykseen on enemmän materiaalia, joten ohutlevy kestää enemmän kuroutumista. Tämän seurauksena levyä voidaan venyttää enemmän ja siten suurin mahdollinen urasyvyys kasvaa. Levyn materiaalin mekaaniset ominaisuudet vaikuttavat myöskin uran ominaisuuksiin siinä määrin, että metallin sitkeyden kasvaessa myöskin mahdollista urasyvyyttä voidaan kasvattaa. Uran sijaintiin kannattaa myös kiinnittää huomiota. Pinnan reunan ja uran reunan välille tulisi jättää vähintään 2,5–3 kertaa levyn paksuuden mittainen etäisyys sen varmistamiseksi, että urat muodostuvat venyttämällä eikä reunan muodonmuutoksilla. (Alshabtat 2011 s.41–42)

Uran muodostamiseen liittyvien rajojen määrittämiseksi tehtyjen kokeiden perusteella todettiin, että urien syvyysraja on noin kolme kertaa levyn paksuus ruostumattomalla AISI 304 teräksellä. (Alshabtat 2011 s.41–42)

Kuviointien ääriviivat on sijoitettu 70 mm päähän levyn reunasta. Kuvion ja reunan väliin on jätetty väliä taivutuksia varten, koska todellisessa mallissa taivutuksien ja kuvioden välille pitää jättää tarvittavasti tilaa taivutuskoneen lukitusleuoille. Lisäksi kokoonpanon reiät voivat tulla tälle välille, joten väli mukailee lopullisen kuvion rajoituksia. Tässäkin on tärkeää muistaa, ettei tarvita minkään tarkan kuvion tuloksia, vaan kuvioden on

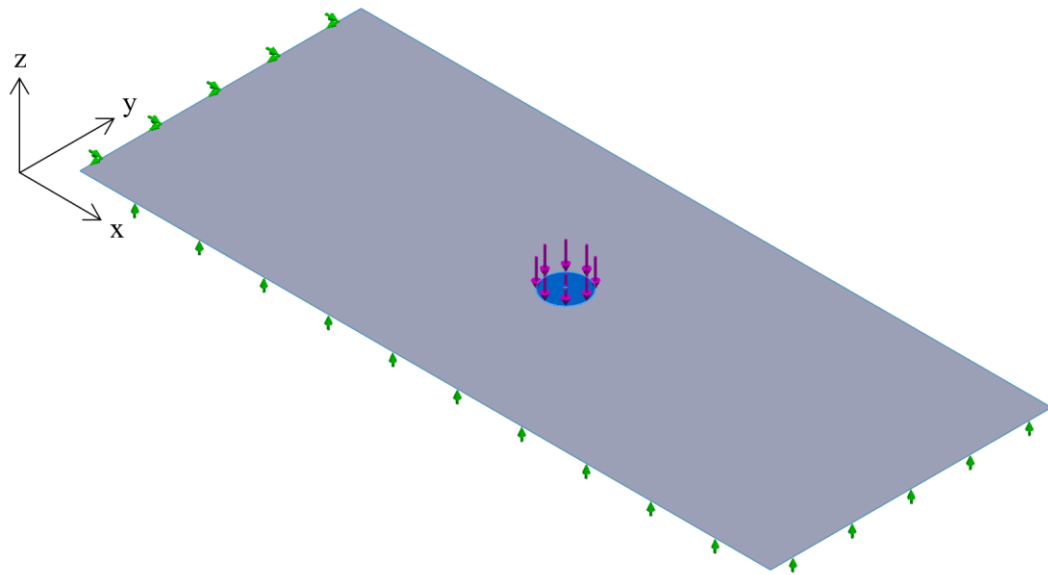
tarkoitus olla vertailukelpoisia. Eli niiden pitäisi muistuttaa toisiaan ja noudattaa tiettyjä samoja rajoituksia, kuten mille etäisyydelle reunasta ne on sijoitettu tai että kaikkien kuvioden kaikki pyöristyssäteet on tehty 7.5 mm säteellä. Tällä yritetään varmistaa, että suurin vaikutus tuloksiin on pelkästään kuviolla, eikä kuvion sijoittelulla tai muilla parametreilla. Kaikkien kuvioden syvyys on 2 mm.



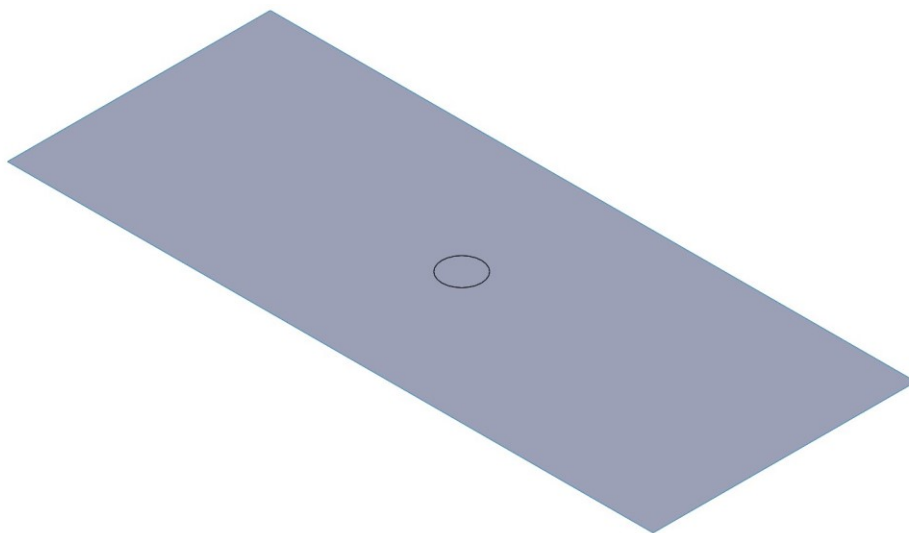
Kuva 24. Kaikki jäykistekuviot tehty kuvassa esitetyn profiilin dimensioilla.

3.4.2 Laskelmien parametrit

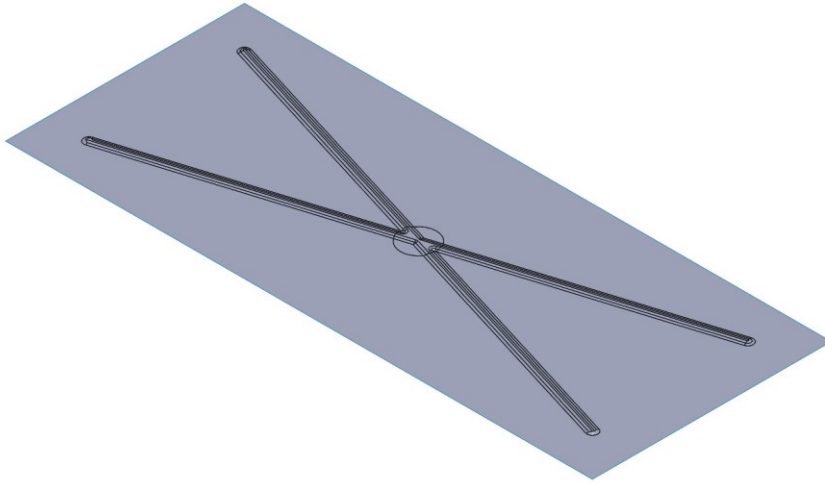
Laskelmissa levyn liike estettiin reunoilta kuvan 25. mukaisen koordinaatiston z-suuntaan. Lisäksi yhdeltä lyhyeltä sivulta estettiin liike myös y-suuntaan. Rotaatio sallittiin vapaasti. Kuormituksen arvoksi asetettiin 100 N ja jaettiin tasaisesti kuvan 25. mukaiselle sinisellä merkatun Ø60mm ympyrän muotoiselle alueelle. Kuormituksen suunta oli z-suuntaan kohtisuoraa levyn pintaan. Jokaisen mallin verkotuksessa käytettiin samoja arvoja, jotta tulokset olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia.



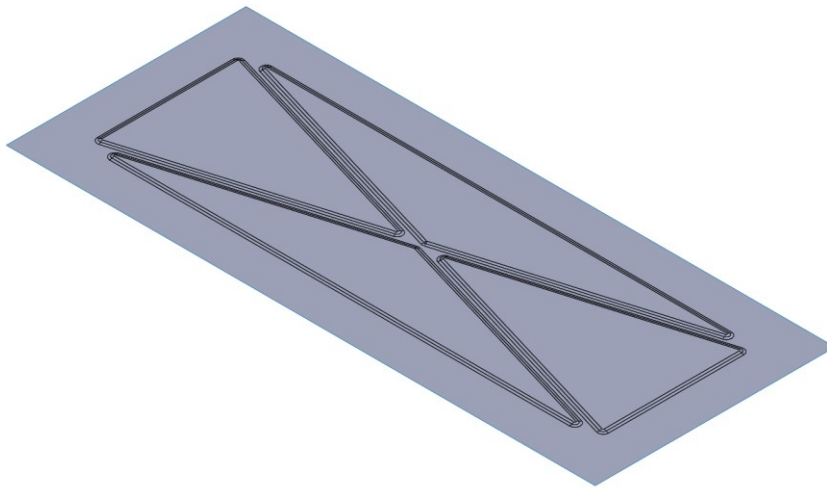
Kuva 25. Laskelmissa käytetyn mallin tukireaktiot ja siihen kohdistetut kuormitukset.



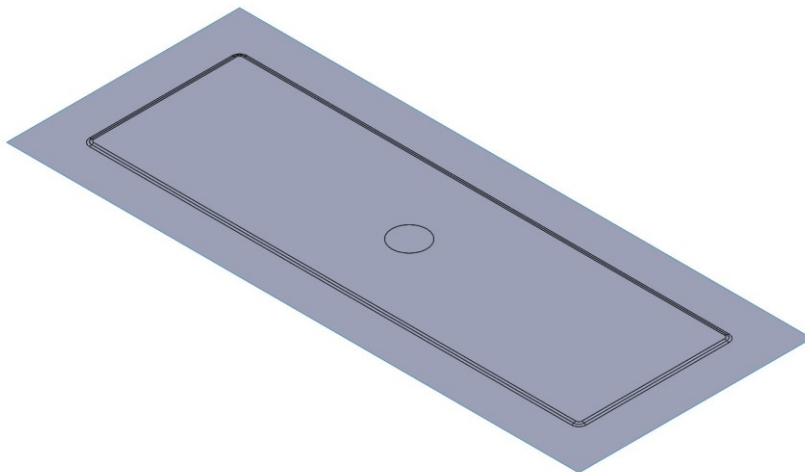
Kuva 26. Vertailuarvot saatu kuvan mukaisesta mallista, jossa ei ole jäykistekuvioita.



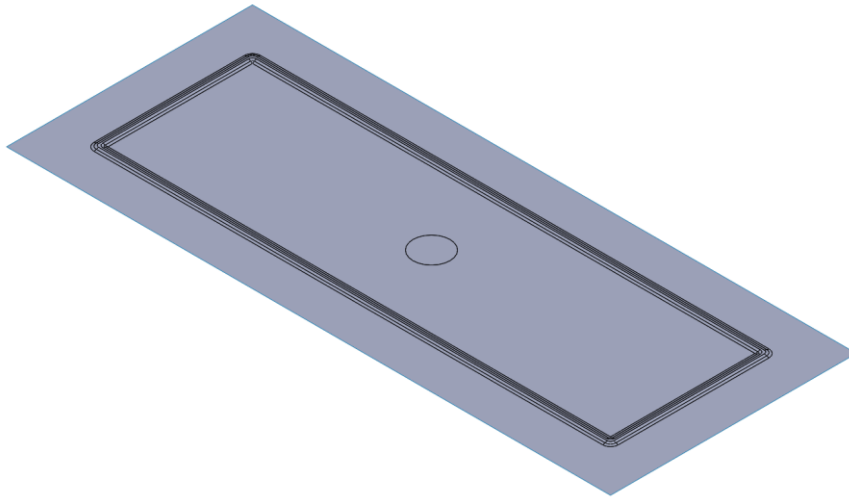
Kuva 27. Vaihtoehto 1 (X-muotoinen ura)



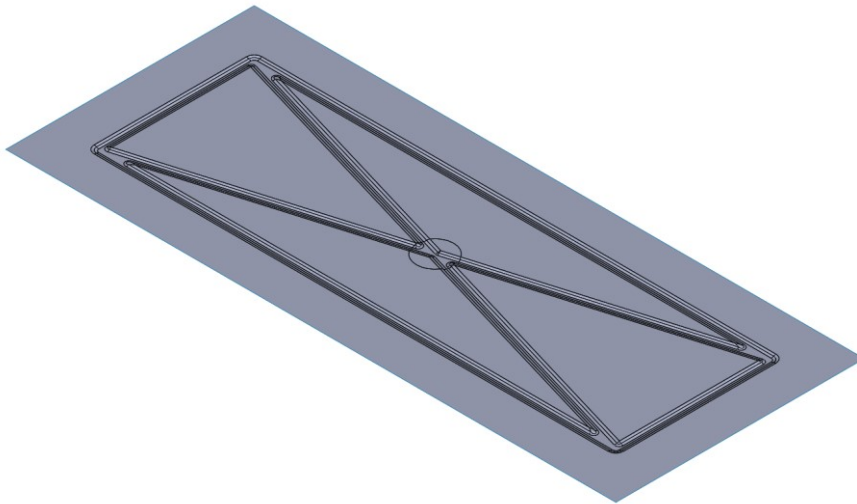
Kuva 28. Vaihtoehto 2 (X-kuvio kolmion muotoisia upotuksia käyttäen)



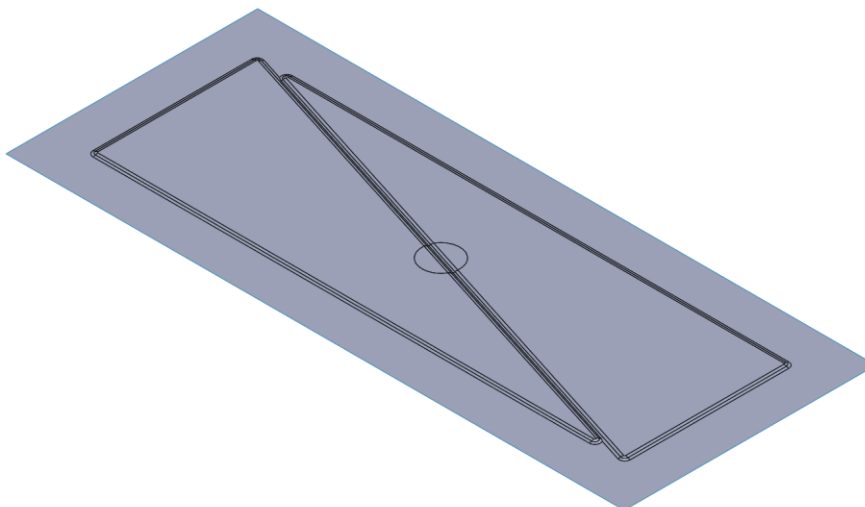
Kuva 29. Vaihtoehto 3 (Suorakulmioupotus)



Kuva 30. Vaihtoehto 4 (Suorakulmion muotoinen ura)



Kuva 31. Vaihtoehto 5 (Suorakulmion muotoinen ura, jossa yhdistettynä X-ura)



Kuva 32. Vaihtoehto 6 (Ura kulmasta kulmaan kolmion muotoisia upotuksia käyttäen)

4 TULOKSET

Seuraavaksi käsitellään tuotekehitys- ja uudelleensuunnitteluprosessissa saatuja tuloksia ja niistä vedettyjä johtopäätöksiä. Esitettäviin tuloksiin on päästy kappaleessa 3. esitellyillä metodeilla. Lisäksi esitetään suosituksia tulevaisuutta ja uuden mallin tuotantoa ajatellen.

4.1 Aihiokoon optimisoinnin tulokset

Äärimittojen kokoa muuttamalla saatiin osien aihioita sijoiteltua 1–2 kappaletta enemmän levyaihioille ja siten hukkamateriaalia minimoitua tarvittavissa määrin.

Taulukko 4. Aihiokokojen optimoinnin tulokset

Levyaihiot asiakkaan käytössä			
Osa (materiaali)	Pituus [mm]	Leveys [mm]	
Kansi (rst)	3860	1250	
Muut (rst fef)	2500	1250	

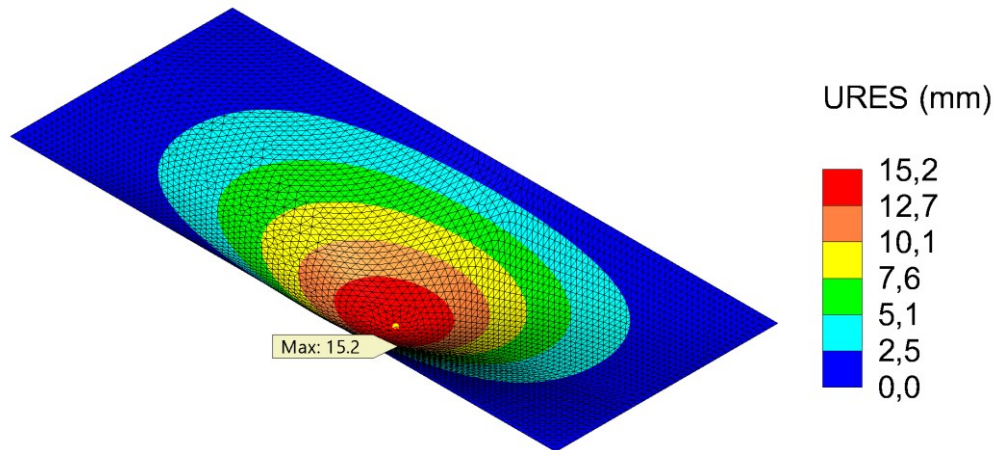
Ensimmäinen versio			
Valmistettavien aihioden äärimitat			
Osa	Pituus [mm]	Leveys [mm]	Maksimi määrä yhdelle levyaihioille
Kansi	1052,8	562,3	6
Pohja	1012,3	501,4	4
Katto	965	938,6	2
Sivu	554,4	506,7	8

Optimoitu versio			
Valmistettavien aihioden äärimitat			
Osa	Pituus [mm]	Leveys [mm]	Maksimi määrä yhdelle levyaihioille
Kansi	1030,8	551,3	7
Pohja	1012,3	469,3	5
Katto	1008,3	980,3	2
Sivu	546,9	499,6	10

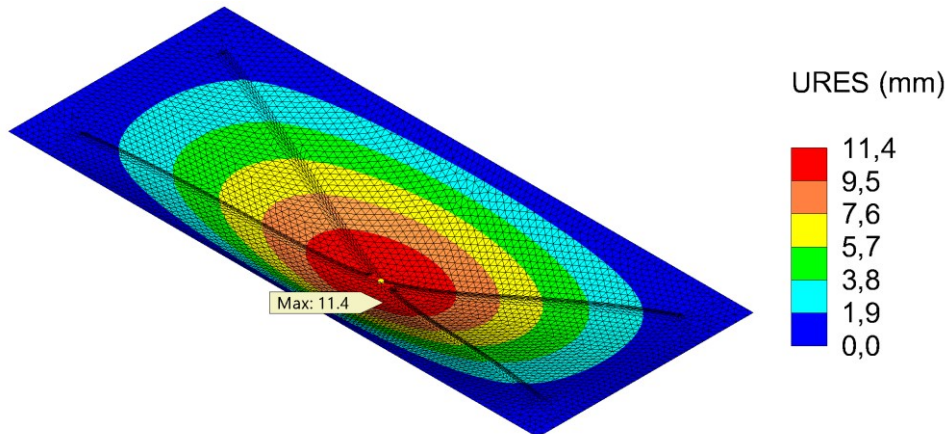
Taulukossa 4. on esitettyinä levyaihioden mitat ja osien valmistettavien aihioden äärimitat ennen ja jälkeen optimoinnin. Kannen, pohjan ja sivujen aihioden mittoja oli mahdollista pienentää tarvittava määrä, jotta niitä saadaan suurempi määrä yhdestä aihioista. Nämä poistetut mitat näkyvät hieman kasvaneissa katto-osan aihion äärimitoissa. Nämä kasvaneet mitat eivät kuitenkaan vaikuttaneet yhdestä levyaihioista saatujen osa-aihioden määrään, joten kokonaisuudessaan optimoinnilla saatiin vain positiivisia tuloksia

4.2 Jäykistekuvioinnin tulokset

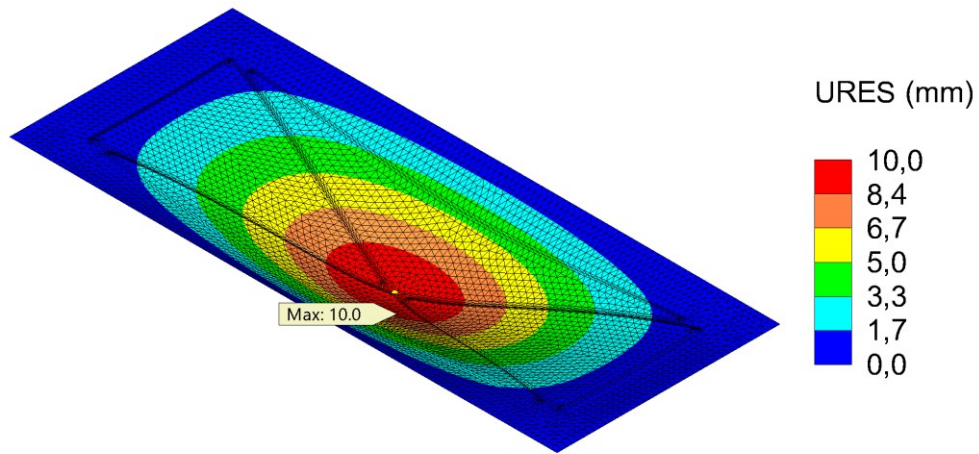
Laskelmista saadut tulokset ovat esitettyinä kuvissa 33–39. Maksimisiirtymän sijainti mallikappaleessa pisteellä, jonka vieressä maksimisiirtymän lukuarvo. Maksimi siirtymän voi myös lukea kuvien oikeasta laidasta.



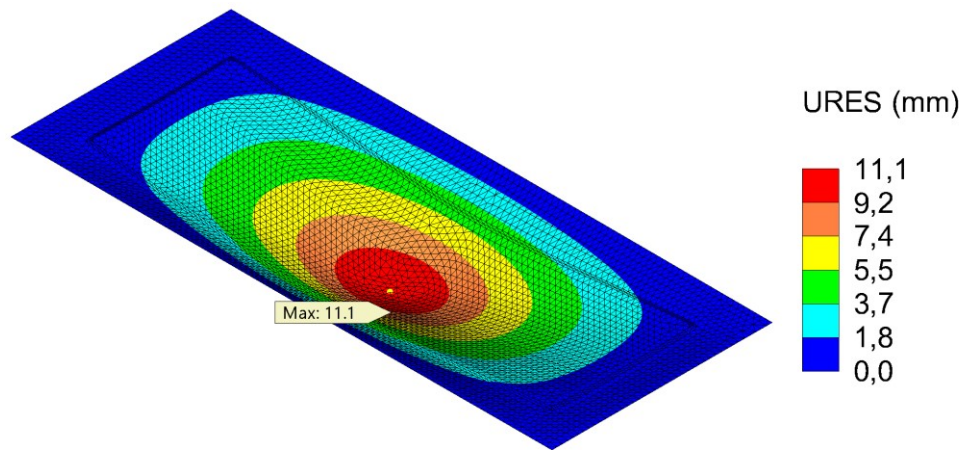
Kuva 33. Vertailuarvo



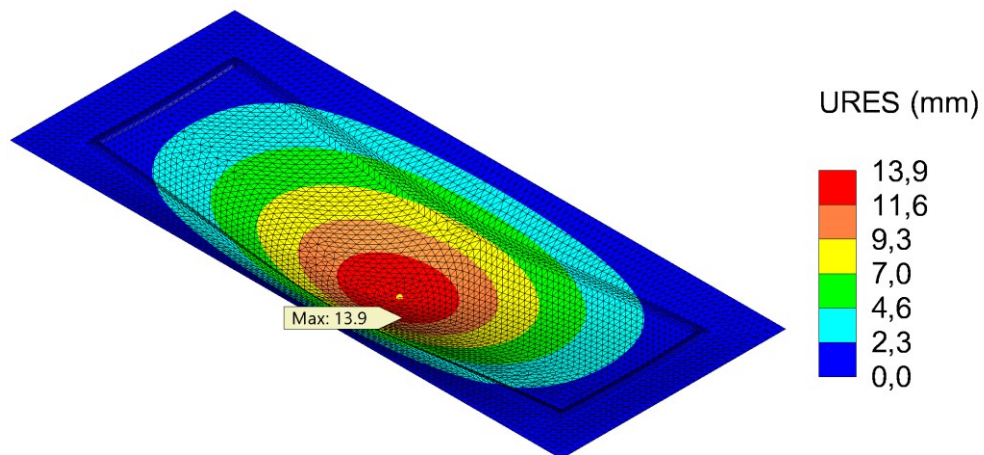
Kuva 34. Vaihtoehto 1 (X-muotoinen ura) siirtymät



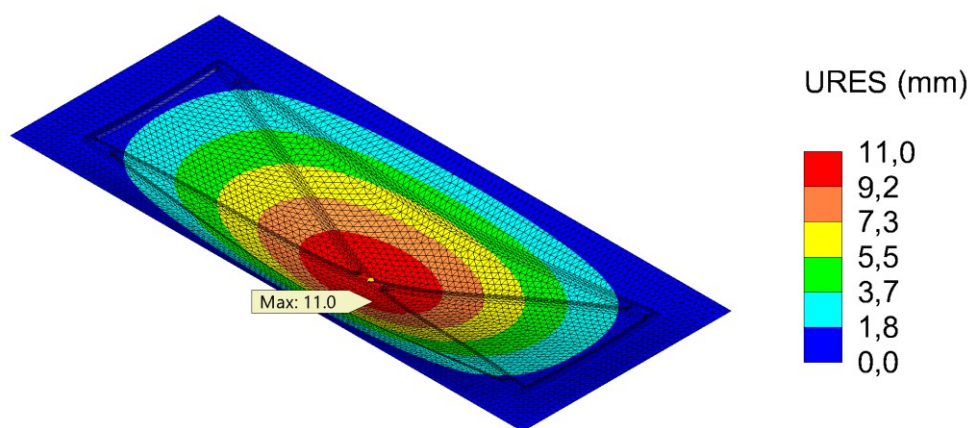
Kuva 35. Vaihtoehto 2 (X-kuvio kolmion muotoisia upotuksia käyttäen)



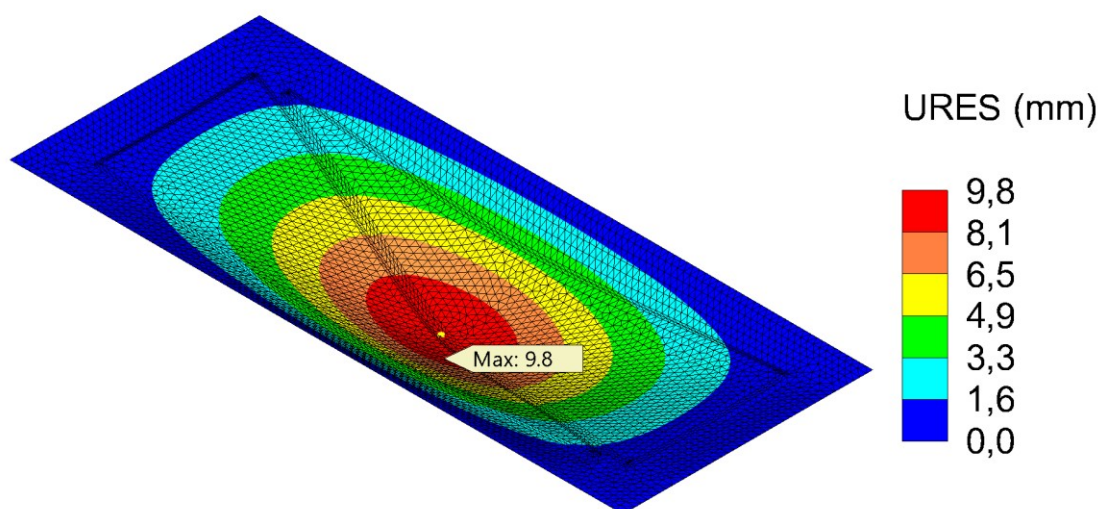
Kuva 36. Vaihtoehto 3 (Suorakulmioupotus)



Kuva 37. Vaihtoehto 4 (Suorakulmion muotoinen ura)



Kuva 38. Vaihtoehto 5 (Suorakulmion muotoinen ura, jossa yhdistettynä X-ura)



Kuva 39. Vaihtoehto 6 (Ura kulmasta kulmaan kolmion muotoisia upotuksia käyttäen)

Tulokset on koottu yhteen taulukossa 5., jonka perusteella päätetään, mitkä kuviot otetaan jatkotarkasteluun tulosten parantamiseksi.

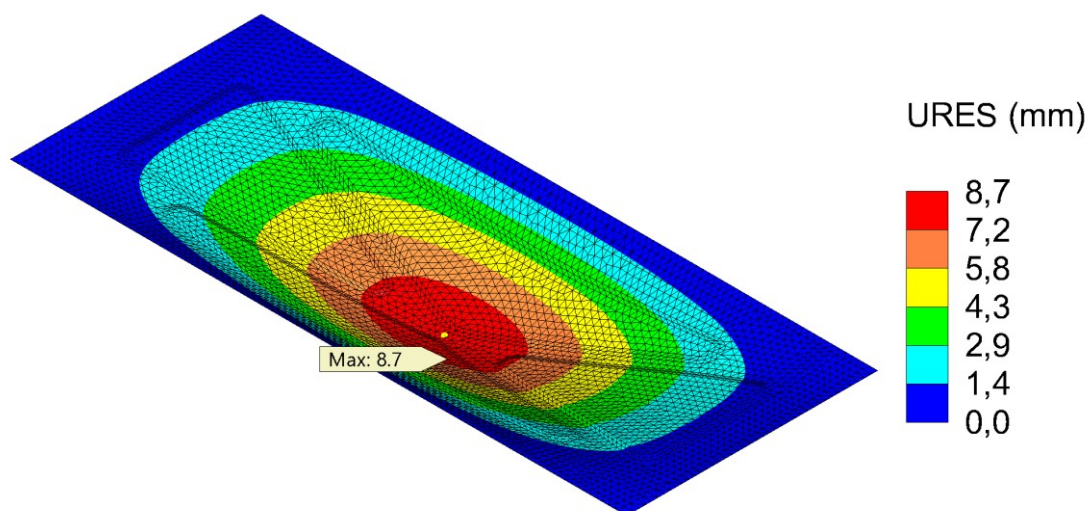
Taulukko 5. FEM-laskelmien tulokset

Kuvio		Siirtymä (Displacement) [mm]	Parannus [%]
Vertailuarvo	(Ilman kuviota)	15,2	-
Vaihtoehto 1	X-muotoinen ura	11,4	25,0 %
Vaihtoehto 2	X-kuvio kolmion muotoisia upotuksia käyttäen	10,0	34,2 %
Vaihtoehto 3	Suorakulmioupotus	11,1	27,0 %
Vaihtoehto 4	Suorakulmion muotoinen ura	13,9	8,6 %
Vaihtoehto 5	Suorakulmion muotoinen ura, jossa yhdistettynä X-ura	11,0	27,6 %
Vaihtoehto 6	Ura kulmasta kulmaan kolmion muotoisia upotuksia käyttäen	9,8	35,5 %

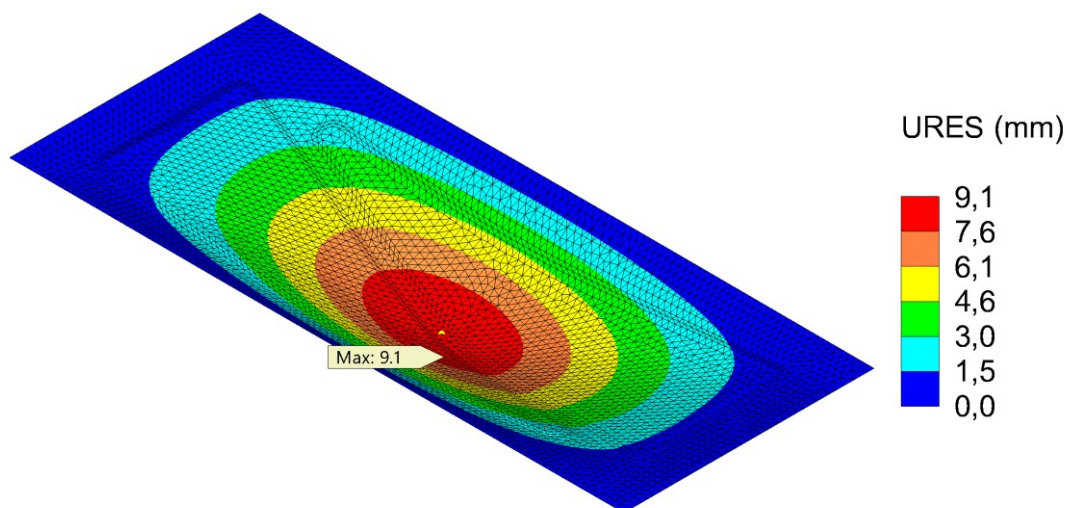
4.2.1 Kuvion optimointi

Valitaan tarkasteltavaksi kuviovaihtoehdot 2 ja 6. Upotuksen kuvion dimensioita muuttamalla voidaan optimoida kuviosta saatava hyöty.

Tässä vaiheessa muunnetaan kuvioiden mitat sellaisiksi, että valitut kuviot on mahdollista valmistaa levytyökeskuksen työkaluilla aihionvalmistusvaiheen yhteydessä. Kuvion keskelle muodostuvien viivojen leveyttä ja pyöristyssäteiden arvoa kasvattamalla saadaan tuloksia todennäköisesti parannettua. Pyöristyssäteiden arvo kasvatettiin 15 mm:iin, jolla saadaan varmistettua valmistettavuus. Samoin myös upotuksien väliä joudutaan kasvattamaan 30 mm mittaiseksi. Tämä pienentää kuviossa olevien tasaisten pintojen pinta-alaa. Diagonaaliviivoja sisältävät kuviot ovat parempia kuin sivujen suuntaisia sisältävät, koska ne todennäköisesti jakavat kuorman pitemmälle matkalle ja samalla välttävät niin sanottua suklaalevyefektiä, joissa levy taipuisi jäykistyskuvioiden välistä. (ks. Kuvat 40. ja 41.)



Kuva 40. Optimoitu vaihtoehto 2 (X-kuvio kolmion muotoisia upotuksia käyttäen)



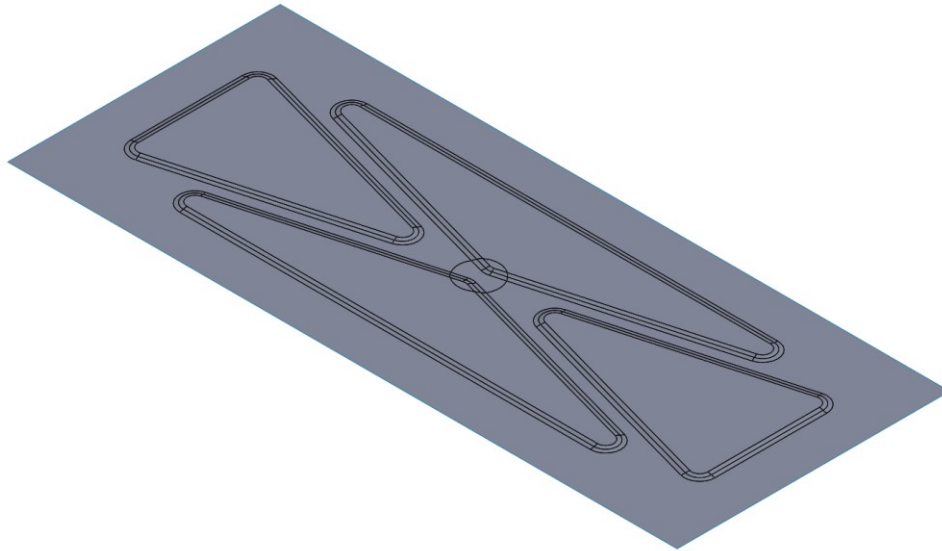
Kuva 41. Optimoitu vaihtoehto 6 (Ura kulmasta kulmaan kolmion muotoisia upotuksia käyttäen)

4.2.2 Käytettävän kuvion valinta

Taulukosta 6. voidaan nähdä laskelmien tulokset. Näitä vertailemalla valitaan paras vaihtoehto. Tulosten perusteella valitaan optimoitu vaihtoehto numero 2., kolmion muotoisista upotuksista muodostettu X-kuvio, joka on esitetty kuvassa 42.

Taulukko 6. Optimoitujen kuvioiden tulokset

Kuvio		Siirtymä (Displacement) [mm]	Parannus [%]
Vertailuarvo	(Ilman kuviota)	15,2	-
Vaihtoehto 1	X-muotoinen ura	11,4	25,0 %
Vaihtoehto 2	X-kuvio kolmion muotoisia upotuksia käyttäen	10,0	34,2 %
Vaihtoehto 3	Suorakulmiouputus	11,1	27,0 %
Vaihtoehto 4	Suorakulmion muotoinen ura	13,9	8,6 %
Vaihtoehto 5	Suorakulmion muotoinen ura, jossa yhdistettynä X-ura	11,0	27,6 %
Vaihtoehto 6	Ura kulmasta kulmaan kolmion muotoisia upotuksia käyttäen	9,8	35,5 %
Optimoitu vaihtoehto 2		8,7	42,8 %
Optimoitu vaihtoehto 6		9,1	40,1 %



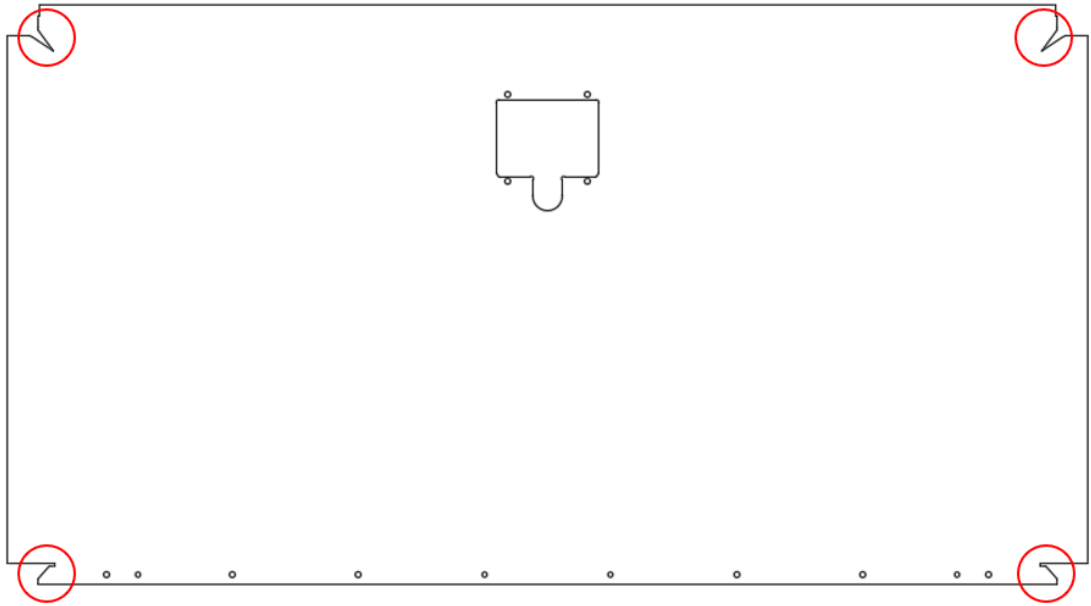
Kuva 42. Optimoinnin jälkeen tuotteessa käytettäväksi valittu kuvio (Optimoitu vaihtoehto 2)

4.3 Suunnitteluratkaisut

Tässä kappaleessa esitellään kappaleen 3. metodeilla ja edellä esitettyjä tuloksia hyväksi käyttämällä saadut suunnitteluratkaisut. Esitetään myös, miksi päädyttiin tähän ratkaisuun ja mitä sillä mahdollisesti saavutetaan. Lisäksi verrataan, vaikuttiko ratkaisuun se, että kappaleessa 3.1 esitettyyn vanhan malliin ratkaisut eivät olleet mahdollisia uusilla tuotantomenetelmillä ja esitellään syy, miksi vanha ratkaisu ei toimi enää.

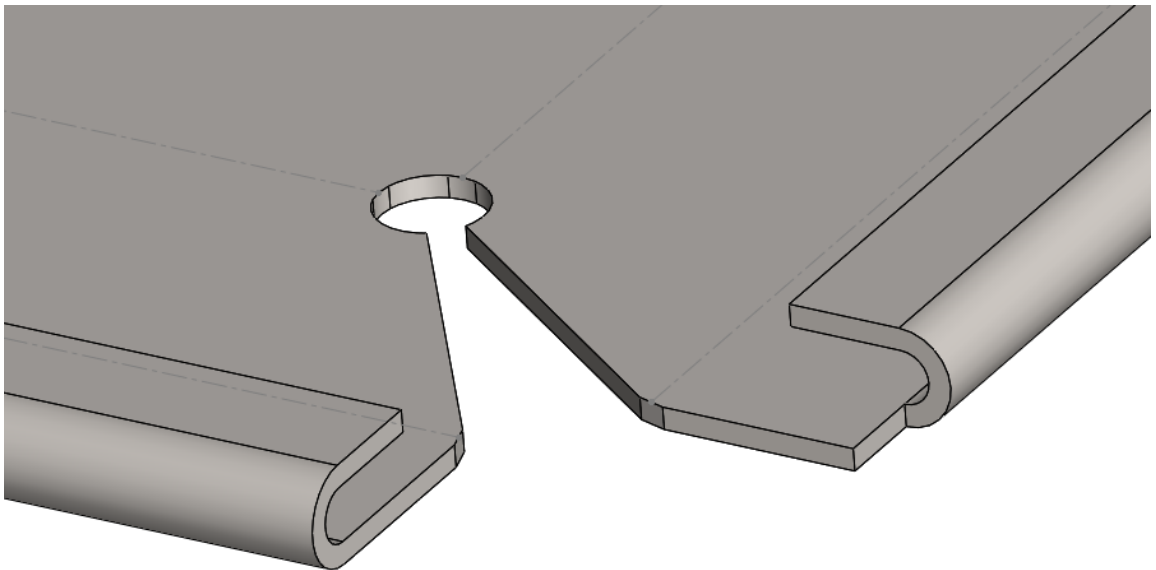
4.3.1 Aihion suunnittelu

Nykyistä mallia tutkittaessa kävi selväksi, että sen suunnittelussa ei ole ollut tarvetta vältellä tiettyjä geometrioita, koska laserleikkauksella voidaan valmistaa miltei kaiken muotoisia leikkauksia. Tämän takia joitain malleissa käytettyjä geometrioita ei ollut mahdollista valmistaa levytyökeskuksella. Esimerkkinä tällaisesta aihion geometriasta on esitetty kuvassa 43., jossa on kuvattu kanne aihio. Aihioon on tehty terävän kulman sisältävä leikkaus, jonka tarkoituksena on tehdä kannen kulman raosta mahdollisimman pieni. Tämän leikkaus on liian pieni tehtäväksi levytyökeskuksen revolverin nykyisillä lävistystyökaluilla.



Kuva 43. Esimerkki nykyisen mallin ongelmakohdista (eli leikkaukset, joissa on terävä kulma), joita ei ollut mahdollista valmistaa levytyökeskuksella.

Tämä ongelma ratkaistiin uuden mallin aihioon tekemällä kulmiin helpotus, eli pyöreä reikä, joka samalla on mahdollista valmistaa levytyökeskuksen revolverin nykyisillä lävistystyökaluilla, mutta myös sujuvoittaa ja helpottaa kappaleen taivutustystöä. Kuvassa 44 on esitetty uuden kannen kohta, missä nykyisessä mallissa oli kulma, joka oli mahdoton valmistaa. Kulman kohdalla on asiakkaalta saadun työkalulistan tietojen mukainen reikä.

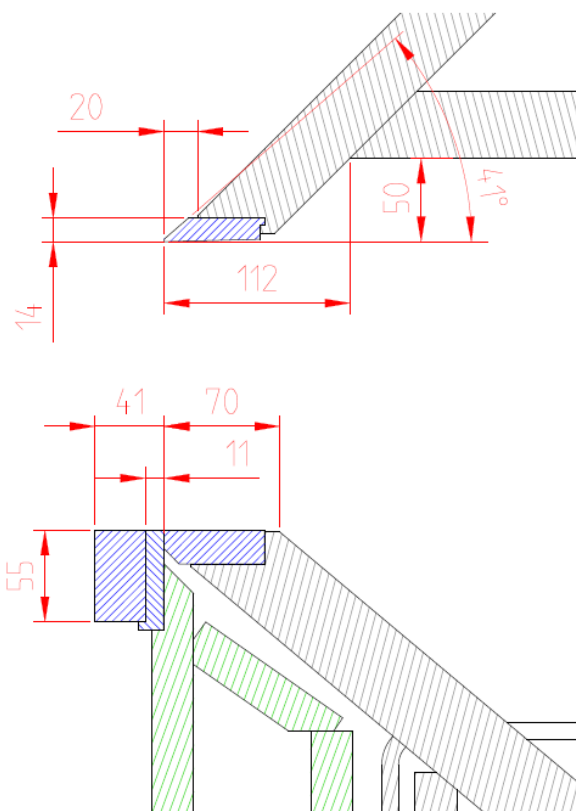


Kuva 44. Uuden mallin kannen nurkissa sijaitseva helpotus/päästö.

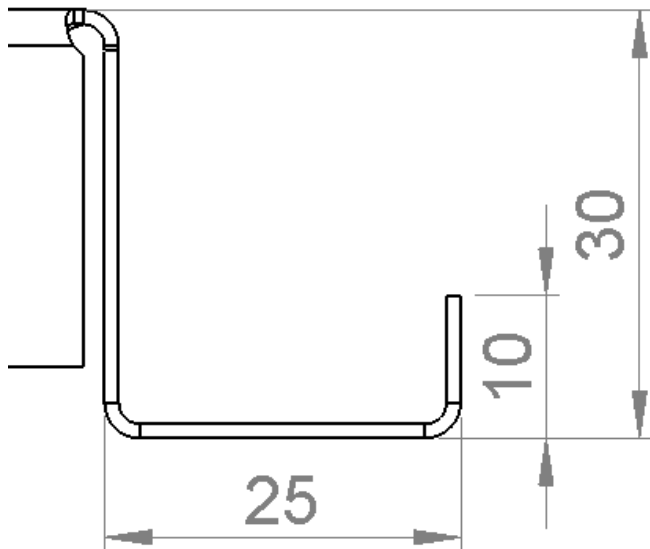
Tiiveyden kannalta ratkaisulla ei ole merkitystä, koska kannen saumat hitsataan yleensä TIG-hitsauksella tiiviisti umpeen. Tähän syynä on se, että asiakkaalle oli tärkeää, että kannen ulkonäkö on siisti ja huoliteltu. Hitsisaumat hiotaan ja kiillotetaan vielä tämän jälkeen. Tämän takia suuremmat välit kannessa eivät haittaa, kunhan ne pysyvät niissä rajoissa, että saumat pysytyttään hitsaamaan helposti umpeen.

4.3.2 Taivutusten suunnittelu

Taivutukset on uudessa mallissa suunniteltu valmistettavaksi halutulla taivutuskoneella. Tällä taivutuskoneella ei ollut mahdollista tehdä samaa kokoonpanoa kuin nykyisessä mallissa oli käytetty. Esimerkiksi nykyisen mallin laatikon ja seinät sisältävän U-muotoisen kappaleen taivutus ei olisi mahdollista tehdä taivutuskoneella. Toisena esimerkkinä on laatikon suuaukon reunus, johon kannen tiiviste kiinnitetään. Kuvassa 45. on esitetty taivutuskoneen dimensioid ja kuvassa 46. taas nykyisen mallin reunuksen dimensioid.

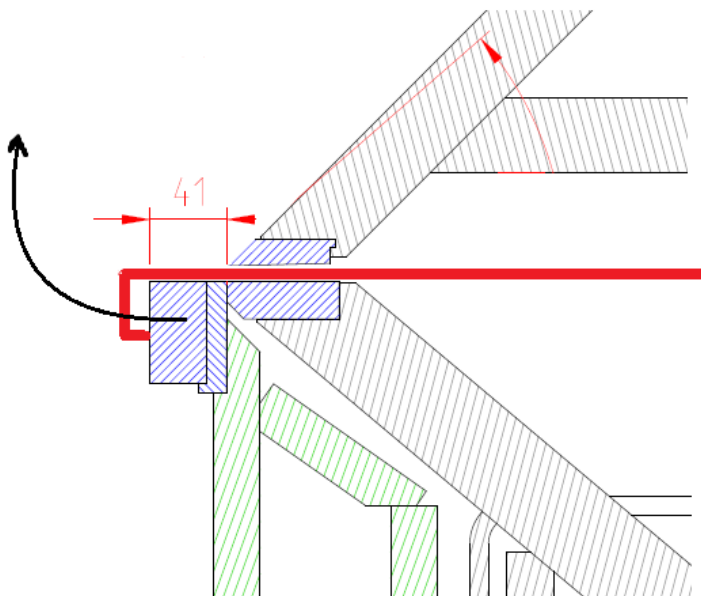


Kuva 45. Taivutuskoneen dimensioid (Prima power)

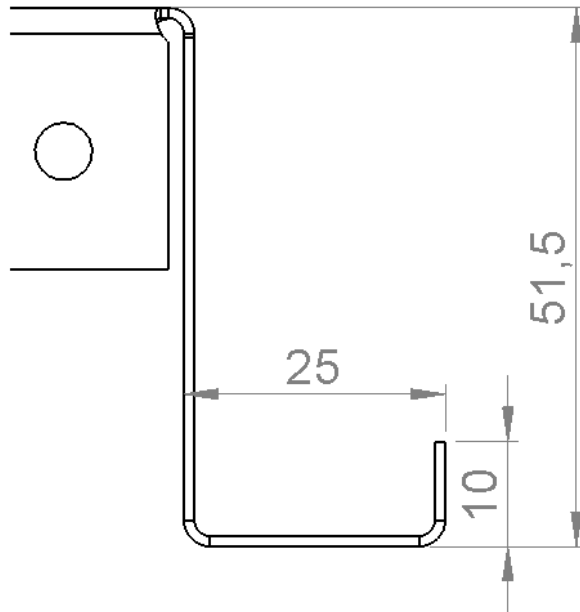


Kuva 46. Nykyisen mallin aukon reunuksen profiilin dimensiot

Näitä kuvia ja niissä olevia lukuja tarkastelemalla voidaan huomata, ettei taivutusta ole mahdollista valmistaa taivutuskoneella (Kuva 47.). Uudessa mallissa tämä on ratkaistu siten, että kolmannen taivutuksen, eli kuvassa 46. kuvatun taivutuksen, tekemiselle on varattu taivutuskoneen taivutuspalkin tarvitsema mitta.



Kuva 47. Syy, miksi nykyisen mallin reunus ei ole mahdollista valmistaa taivutuskoneella ja mitta, minkä tarvitaan, jotta taivutus onnistuu.



Kuva 48. Uuden mallin aukon reunuksen profiilin dimensiot

Kuvassa 48. on esitetty uuden mallin reunuksen mitat, joissa on otettu taivutuspalkin mitat huomioon. Näillä dimensioilla taivutus on mahdollista suorittaa taivutuskoneella. Ongelmana tällä ratkaisulla on, että se pienentää avatun laatikon suuaukkoa sivuilta ja ylälaidasta, ja täten hankaloittaa hieman laatikon käytännöllisyyttä.

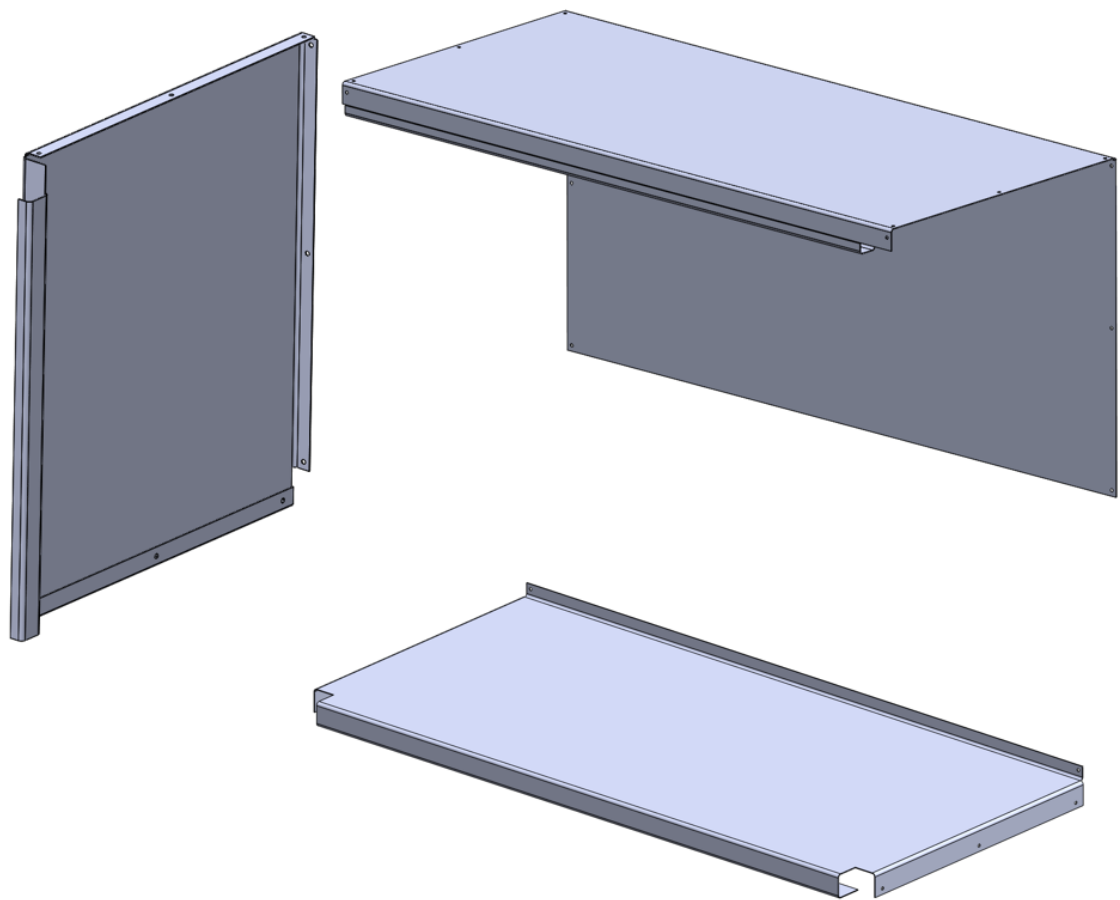
On otettava kuitenkin huomioon, että taaksepäin yhteensopivuus on pidettävä mielessä tehdessä radikaaleja muutoksia. Tällä ratkaisulla uusia osia ei tarvittaisi, joten vanhoja, jo toimivaksi todettujen komponenttien käyttöä voitaisiin jatkaa, ja samalla varaosien toimittaminen vanhoihin laatikoihin olisi huomattavasti edullisempaa ja varmempaa. Kaiken lisäksi, jos jo käytössä tiivisteratkaisua lähdetään muuttamaan, saattaa ongelmaksi muodostua, ettei uuden mallin kansi sovi enää nykyiseen malliin, kuten se tällä ehdotetulla ratkaisulla vielä todennäköisesti sopisi. Lopulta jää asiakkaan päätettäväksi, onko tämän ratkaisun edut suuremmat vai pienemmät kuin siitä seuraava haitta käytettävyyteen.

4.3.3 Kokoonpano

Nykyisen mallin kokoonpano koostuu kolmesta osasta: laatikon katon ja seinät sisältävästä osasta, pohjan ja takaseinän sisältävästä osasta sekä kansiosasta. Näistä kaksi ensimmäistä liitetään toisiinsa hitsaamalla. Tämän hitsausmäärän vähentäminen oli yksi projektin tavoitteista, koska pitkät hitsisaumat aiheuttavat pienen materiaalityön.

omaavissa työkappaleissa helposti lämmöstä johtuvia epäedullisia muodonmuutoksia. Tästä johtuen laatikon suurille pinnoille voi syntyä jännitys ja siten koko pinta on koholla.

Uuden mallin kokoonpano koostuu viidestä osasta, joita kaksi ovat toisensa peilikuvia: laatikon katon ja takaseinän sisältävästä osasta, pohjasta, kannesta sekä sivuista, jotka ovat toistensa peilikuvat. Kokoonpanon suunnitteluratkaisuissa on sovellettu taulukosta 2. saatuja tuloksia. Kuvassa 49. on kuvattuna uuden kokoonpanon periaate.

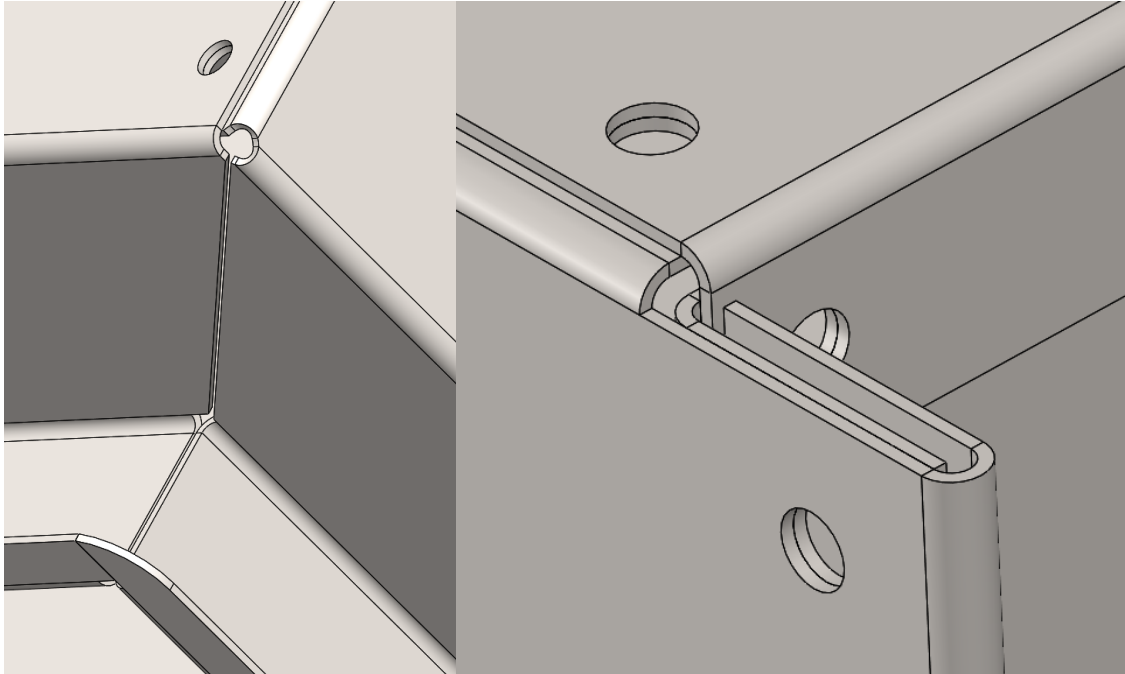


Kuva 49. Uuden kokoonpanon osat.

Osien määrään kasvaminen johtuu siitä, ettei halutulla tuotantomenetelmällä, eli taivutuskoneella, ole mahdollista valmistaa osia, jotka sisältäisivät enemmän kuin kaksi laatikon seinää yhdessä osassa. Taivutuskoneen parametrit rajoittavat kappaleiden taivutusta, jos taivutettavaan kappaleessa on jo suuri taivutettu osa. Tämä taivutettu osa estää taivutuksen tällaisessa tilanteessa.

Kokoonpanossa on käytetty apuna muotosulkeisia rakenteita, jotka on saavutettu taivutuksien sijoittelulla päällekkäin ja sisäkkäin. Tämä rakenne lisää kokoonpanon

helppoutta ja samalla vähentää kokoonpanossa syntyvien asennusvirheiden mahdollisuutta. Päälekkäin sijoiteltuihin taivutuksiin on myös sijoitettu reiät, joista osien kiinnitys toisiinsa tapahtuu. Yhdessä tämä ja muutosulkeisuus lisäävät kokoonpanorakenteen jäykkyyttä. Näitä ratkaisuja on kuvattuna kuvissa 50. ja 51.

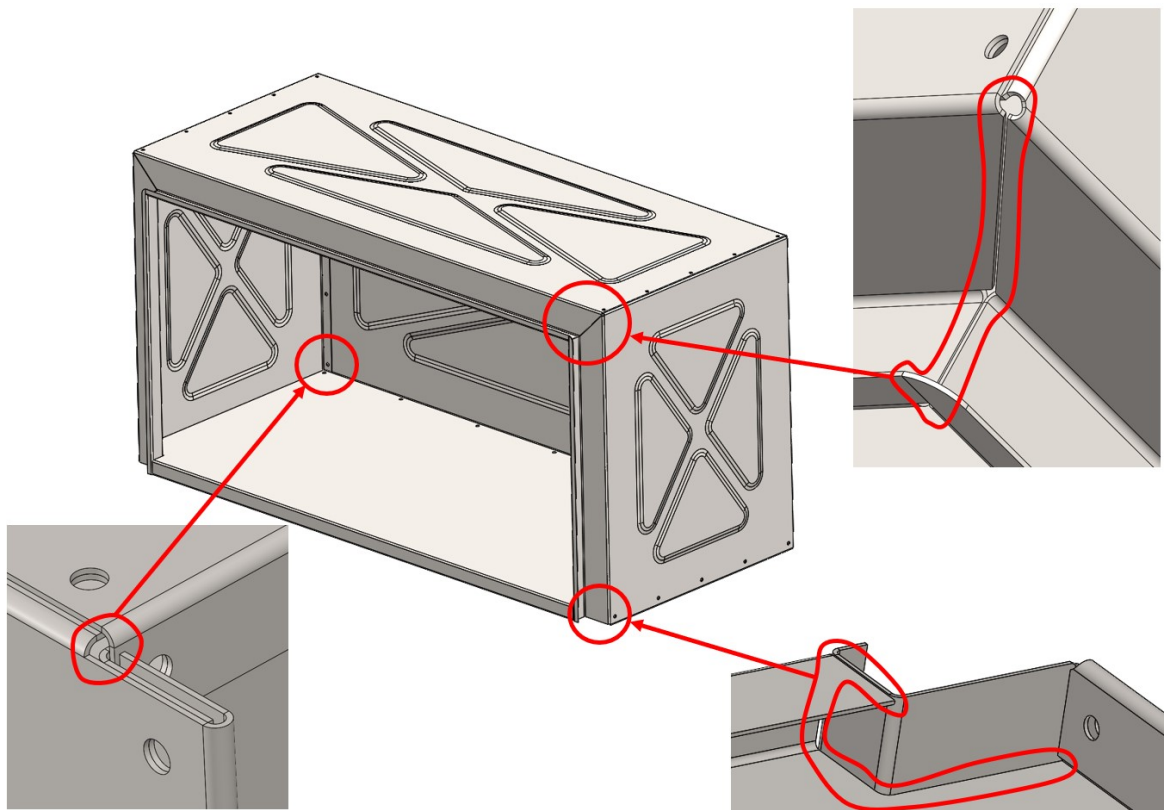


Kuvat 50. ja 51. Uudessa kokoonpanomallissa käytettyjä muutosulkeisia rakenteita ja kiinnityskohtien reikien sijoittelua.

Uuden mallin yhtenä tavoitteena oli vähentää pitkiä hitsisaumoja. Pitkät hitsisaumat on uuden mallin kokoonpanossa korvattu vetoniiteillä ja tiivisteliimalla. Tähän päädyttiin päätösmatriisin (taulukko 1.) tuloksia soveltamalla. Tämä ratkaisu on myös edullinen siinä mielessä, että asiakkaalla on paljon kokemusta erilaisten liimojen käytöstä ja ominaisuuksista, joten tätä tietämystä ja ammattitaitoa voidaan hyödyntää sopivimman liiman valinnassa. Liima olisi tarkoitus sijoittaa pitkille liitos kohdille, eli laatikon särmiin, joissa on liitoskohta. Tämän jälkeen liitokset yhdistetään käyttämällä vetoniittejä.

Ongelmana tässä liitostavassa voi olla liiman pursuaminen, joka voi vaikuttaa laatikon ulkonäköön negatiivisesti. Tässäkin korostuu asiakkaan vankka kokemus erilaisten liimojen kanssa työskentelystä, joten tätä kokemusta ja muissa tuotteissa jo toimiviksi todettuja menetelmiä saumojen puhtauteen ja tiiveyteen liittyen tullaan käyttämään uuden kokoonpanon laadun varmistamiseksi.

Laatikon nurkkiin on pakko käyttää hitsaamista, jotta laatikosta saadaan tiivis. Lisäksi kuvassa 52. on kuvattu tarkemmin millaisia hitsisaumoja uudessa mallissa tulisi käyttää laatikon takaylänurkkien lisäksi. Tämä hitsimäärä on kuitenkin marginaalinen verrattuna nykyisen mallin hitsimääriin ja siten suotavaa tiiveysvaatimusten tavoittelun puitteissa. Hitsaamisen käyttämisellä pelkästään nurkissa myös todennäköisesti vältetään, ainakin suurimmilta osin, suurten pintojen vääristymisiltä ja muodonmuutoksilta. Tämä oli ongelma, joka syntyi pitkien hitsien aiheuttamasta lämmöstä. Myös uudessa mallissa suurille pinnoille valmistetut jäykistekuviot auttavat tämän ilmiön minimoinnissa.

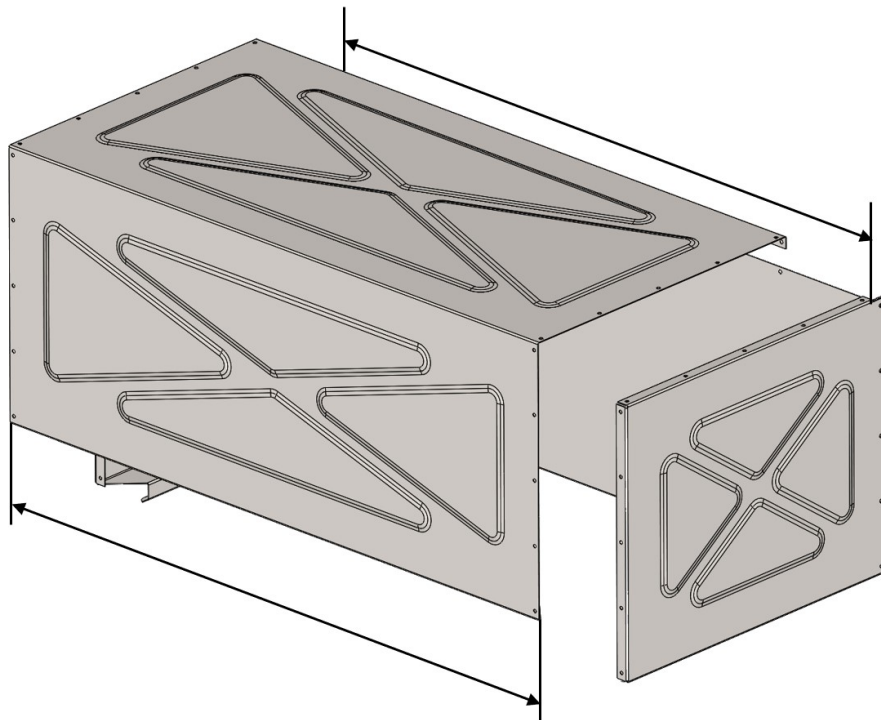


Kuva 52. Uuden kokoonpanomallin erilaisten hitsisaumojen paikat.

Tärkeänä osana kokoonpanon suunnittelua oli myös osien oikea tolerointi. Taivuksissa on erittäin hankalaa päästää tarkkoihin toleransseihin, ja tämä onkin pakko ottaa huomioon varsinkin, jos osaan tehdään luumäärällisesti monta eri taivutusta. Nämä tolerointiongelmät heijastuvat myös kokoonpanoon ja esimerkiksi kiinnityskohtien reikien kokoa ja sijainnin toleransseja tehdessä piti ottaa huomioon kummankin osan taivutukset ja miten ne vaikuttavat toleransseihin. Näitä reikiä on esitettyä kuvassa 51.

4.3.4 Muokattavuus

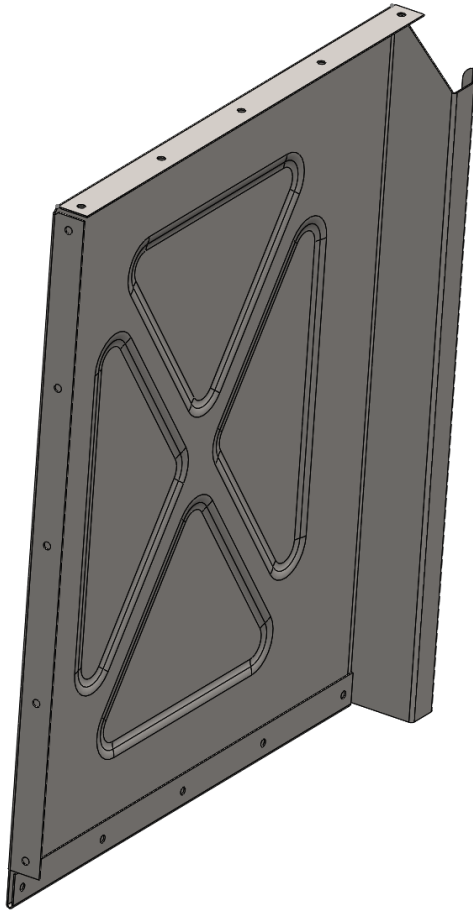
Yhtenä asiakkaan toiveena oli, että laatikon kokoonpanossa käytetyt ratkaisut olisivat helposti skaalautuvia eli yhden vakiokokoisen laatikon muokkaaminen eri kokoiseksi onnistuisi helposti ja vaivattomasti. Tämä on asiakkaalle tärkeää sen takia, koska he tarjoavat laatikkoa useissa eri ko'oissa ja joskus jopa eri muodoissa tai täysin kustomoituna, joten olisi käytännöllistä, jos laatikon dimensiot olisivat helposti muokattavissa.



Kuva 53. Kaksi mittaa, joita muuttamalla laatikon pituus on helposti muokattavissa.

Tämä on pyritty ottamaan huomioon osien asettelussa ja kokoonpanon kiinnityksissä. Laatikon pituus, mikä on yleisin eroavaisuus laatikoissa, on muokattavissa kahta mittaam muuttamalla. Nämä mitat ovat laatikon katon ja takaseinän sisältävässä osassa ja pohjassa (ks. Kuva 53.). Katon ja takaseinän sisältävän osan suurilla pinnoilla oleva jäykiste kuvio skaalautuu laatikon mukana, laatikon pituuden mitan kasvaessa yli kaksinkertaiseksi tulisi kuviosta tehdä kopio ja käyttää vierekkäin kahta samanlaista kuviota. Tämä on tärkeää sen takia, etteivät liian teräviä kulmia sisältävät kuviot aiheuta ongelmia aihion valmistusprosessissa levytyökeskuksessa.

Toinen etu uudella kokoonpanolla on, että pääty-/sivuosat (kuvassa 54.) ovat toistensa peilikuvia, joten ne voidaan teoriassa valmistaa samasta aihioista vaihtamalla vain taivutusten suuntaa. Ainut eroavaisuus on jäykistekuvion suunta. Ei kuitenkaan ole vielä varmaa ovatko jäykistekuviot tarpeellisia laatikon päädyissä, koska nämä pinnat eivät ole yhtä suuria kuin katolla ja takaseinällä. Prototyypissä nämä kuitenkin valmistetaan ja tämän jälkeen tehdään johtopäätöksiä niiden tarpeellisuudesta.

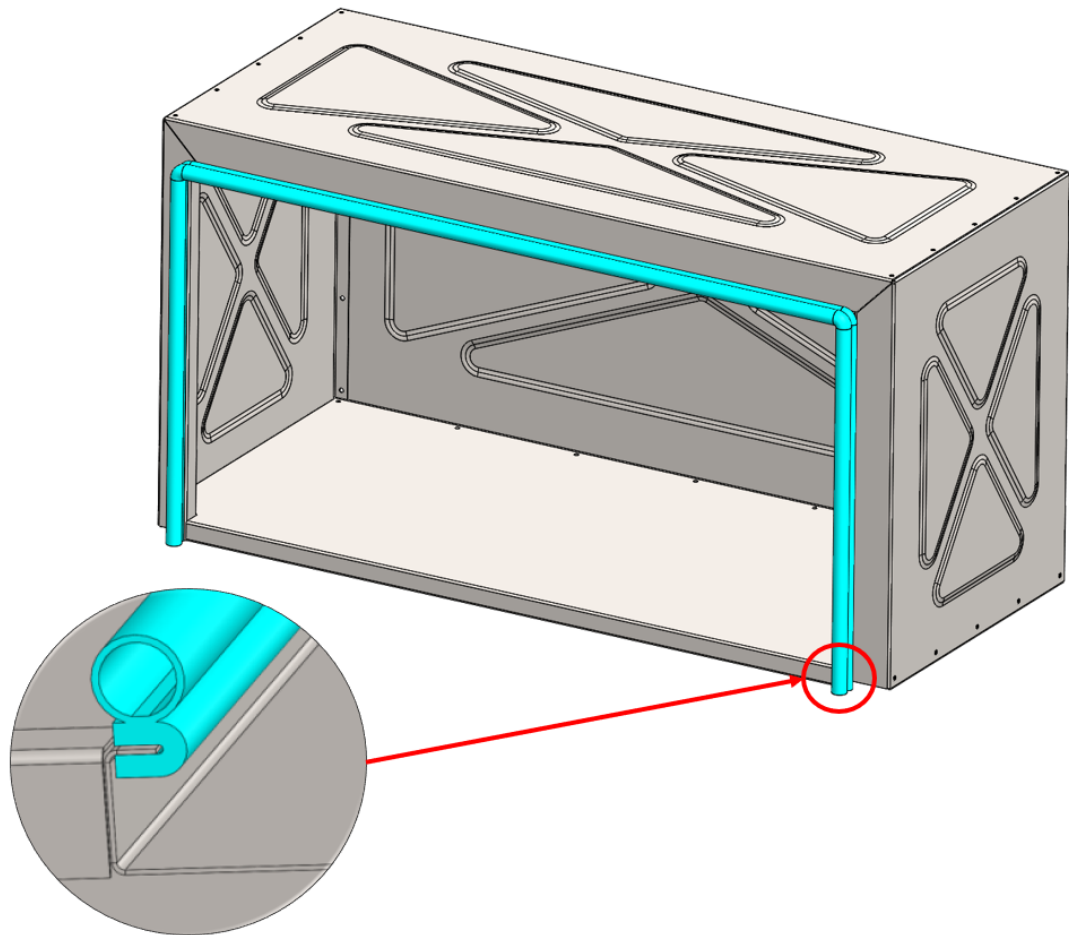


Kuva 54. Uuden mallin pääty-/sivuosa

Toisena etuna näillä pääty-/sivuosilla on, että ne sopivat myös eri pituisiin laatikoihin muokkaamatta. Tämä on suuri etu, koska kuten edellä on mainittu, laatikon pituus on yleisin dimensio, mikä eri laatikko malleissa muuttuu. Päätyosaan on sijoitettuna myös monimutkaisimmat taivutukset, koska se on kokoonpanon pienin osa ja täten helpoin käsitellä taivutuskoneessa. Tämä lisää koko kokoonpanon valmistuksen helppoutta, turvallisuutta ja laatua.

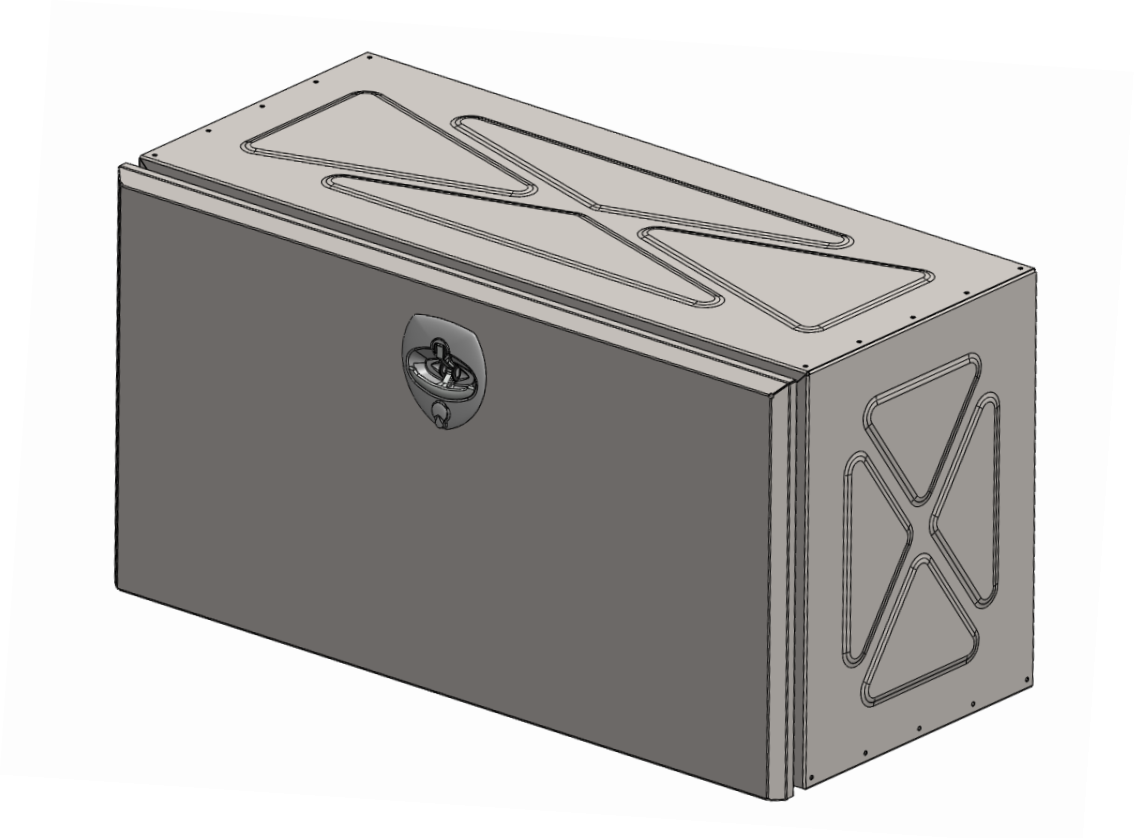
4.3.5 Yhteensopivuus

Myös taaksepäin yhteensopivuus on otettu huomioon kokoonpanoa ja sen komponentteja ja mekaniikkaa suunniteltaessa. Osaksi sen takia, että asiakas halusi pitää tietyt osat mukana kokoonpanossa ja osaksi sen takia, että oli liian aikaa vievää ja hankalaa alkaa miettimään uutta ratkaisua ongelmaan, joka oli jo ratkaistu toimivasti.



Kuva 55. Uusi malli, jossa käytetään samaa tiivistenauhua kuin nykyisessä mallissa.

Esimerkkinä tästä on kannen lukko-osa, joka oli pitkän prosessin jälkeen saatu sellaiseksi, että se vastaa visuaalisesti ja mekaanisesti haluttua. Tämän takia samaa lukitusmekanismia tuli käyttää myös uudessa mallissa. Tästä sitten johtui, että koko kannen sarana ja tiivistejärjestely päätettiin pitää lähes samanlaisena. Tämän hyötynä on, että koska uudessa mallissa käytetään täysin samoja komponentteja kuin nykyisessä mallissa, kuten saranassa käytettävää kuljetin hihnaa tai kannen tiivistenauhua (kuva 44.), on asiakkaalla jatkossakin helppo tarjota varaosia jo käytössä oleviin työkalulaatikoihin. Lisäksi myös uuden mallin kansi sopii nykyiseen malliin, joten sitäkin voidaan tarjota varaosana muuttamatta tuotantoa.



Kuva 56. Valmis uuden mallin kokoonpano.

Yhteensopivuus saatiin hyvin implementoitua ja valmiissa uudessa kokoonpanossa (kuva 56.) on siis käytettynä pelkästään samoja komponentteja kuin vanhassa. Pelkästään tiivisteliimaa ei ole käytettynä vanhassa mallissa.

4.3.6 Kustannukset

Uuden laatikon kustannuksia on erittäin hankala arvioida näin tuotekehitysprosessin alkuvaiheessa. Itse materiaalimateriaalikustannukset eivät tule kasvamaan, koska uudessa mallissa käytännössä käytetään täysin samoja komponentteja kuin nykyisessä. Ainoa asia, mikä siis vaikuttaa muutokseen kustannuksissa, on valmistus.

Uusien valmistuskustannusten totuudenmukainen vertaileminen nykyisiin kustannuksiin edes ennen ensimmäisen prototyypin valmistusta on täysin mahdotonta. Voidaan kuitenkin hieman suuntaa antavasti spekuloida joitakin asioita eri tuotantomenetelmien vaiheajoissa erilaisilla kuviotyypeillä.

Laserleikkaus on erittäin monipuolinen menetelmä ja sillä on erittäin nopea tehdä esimerkiksi suuria kaarevia muotoja, kun taas levytyökeskus on tehokas menetelmä reikäsarjojen ja suorareunaisten kuviodien tekoon. Toisin sanoen levytyökeskus soveltuu

paremmin laatikon aihioden tekoon, josta voi seurata pienempi aihion valmistusaika, ja tästä taas säästöjä kustannuksissa. Tämän saavutetun hyödyn voi kuitenkin kumota ainutlaatuisten osien lukumäärän kasvu kokoonpanossa ja taivutusten monimutkaistaminen. Jo tästä nähdään, että kustannusten arviointi vielä näin aikaisessa vaiheessa on turhaa.

5 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA SUOSITUKSIA

Työssä tehtyjen tutkimuksien perusteella voidaan päätellä, että uramaisella kuviolla voidaan jäykistää ohutlevyä. Kuvion optimoimalla voidaan päästä jopa yli 40 prosentin parannuksiin jäykkyydessä. Tutkimuksista voidaan päätellä myös, että kuvion muodolla ja mitoituksella on suuri merkitys tuloksiin.

Parhaat tulokset saatiin suorakaiteen mallista kappaletta tutkiessa diagonaalisilla tai lähellä diagonaalista olevalla kuviolla. Huonoimmat tulokset saatiin kuvioilla, joihin jäi suuria tasaisia pintoja.

Parhaan kuvion valintaan vaikuttaa myös tuloksen lisäksi tuotannolliset rajoitukset, kuten esimerkiksi tuotantolaitteen työkalujen rajoitukset ja vaihe aikaan kasvaminen. Oikean kuvion löytäminen onkin näiden asioiden tasapainottelua.

6 YHTEENVETO

Tämän diplomityön aiheena oli raskaan kuljetuskaluston työkalulaatikon tuotekehitys- ja uudelleensuunnitteluprojekti. Tavoitteena oli suunnitella uusilla tuotantomenetelmillä valmistettava työkalulaatikon malli ja samalla ratkaista nykyisessä mallissa havaittuja puutteita.

Työssä esiteltiin yksityiskohtaisesti projektin kohde, tavoite, rajoitukset ja metodit, millä tutkimusta tehtiin. Työssä käydään läpi ohutlevytuotteen suunnittelun tuomat rajoitukset ja haasteet, tuotannon toimivuuden ja sujuvuuden optimointi ja muut asiakkaan toiveet liittyen työkalulaatikon ulkonäköön ja yhteensopivuuteen. Lisäksi esitettiin muuta työn aiheeseen liittyvää teoriaa, jotta työn lähtökohdista, menetelmistä ja haasteista saa läpikotaisen kuvan. Teoriassa esitettiin myös suunnittelukäytäntöjä, mitä tuotekehityksessä ja uudelleensuunnittelussa käytettiin.

Lisäksi esiteltiin tutkimusmenetelmät, joiden tuloksien perusteella valittiin uuteen malliin sopivimmat ja toimivimmat ratkaisut. Tuloksista luotu prototyyppi valmistetaan asiakkaan tiloissa. Sen jälkeen pystytään päättämään, miten tulevaisuudessa projektia jatketaan.

LÄHDELUETTELO

Alshabtat, N. T., 2011. Beading and Dimpling Techniques to Improve the Vibration and Acoustic Characteristics of Plate Structures.

Avalle, M., De Filippi, A., Fusano, L. & Priarone, P., 2011. Sheet Metal Plate Design: A Structures Approach to Product Potimization in The Presence of Technological Constraints. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.

Chatti, S. & Hermi, N., 2011. The effect of non-linear recovery on springback prediction. Computers & Structures, s. 1367–1377.

Gau, J.-T. & Kinzel, G. 2001. A new model for springback predickion in which the Bauschinger effect is considered. International Journal of Mechanical Sciences s. 1813–1832.

Hingole, R. S. 2015. Advances in Metal Forming. Springer.

Ingarao, G. & Di Lorenzo, R. 2010. Optimization metods for complex sheet metal stamping computer aided engineering.

Lepola, P. & Makkonen, M. 2011. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. WSOYpro. ISBN: 9789510271582, s. 303–304

Li, D., Tang, G., Zhang, R. & Zhou, S., 2010. Structural Optimization of a Rigid Metal Container Cover Based on Parametric Solid Modeling. Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation.

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelmä, E. & Hultin, S., 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Teknologiainfo Teknova.

Mäki-Mantila J., 2001. Ohutlevyjen taivutus ja muovaus. Helsinki: Metalliteollisuuden Keskusliitto.

Pere A., 2016. Koneenpiirustus 1 & 2, Kirpe oy, ISBN:9789526741925

Prima power, levytyökeskukset [verkkodokumentti]. [viitattu 07.06.2021] Saatavissa: <https://www.primapower.com/fi/shear-genius-sg/>

Ramama, K. V. & Rao, P. V. 2005. Automated manufacturability evaluation system for sheet metal components in mass production. International Journal of Production Research, s. 3889–3913.

Suomen Metalliteollisuuden keskusliitto. 1988, Tekninen tiedotus 9/88. Levytyökeskusten rakenne, käyttö ja ohjelmointi. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Tang, D.B., Li, Z. & Zheng, L. 2001. An Intelligent Feature-Based Design for Stamping System. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

Tappex, Puriteruuvi, [verkkodokumentti]. [viitattu 07.06.2021] Saatavissa: <https://www.tappexfinland.fi/tuotteet/puristekiinnikkeet/puristeruuvi-hcs>

Ullman, D., 2010. The Mechanical Design Process, McGraw-Hill. ISBN: 9780072975741

VAK, tuotteet, [verkkodokumentti]. [viitattu 07.06.2021] Saatavissa: <https://vak.fi/fi/tuotteet/>

Würth Elektronik Oy. 2009. Ohutlevykiinnikkeet [verkkodokumentti]. [viitattu 07.06.2021]. 40 s. Saatavissa: <https://docplayer.fi/12980841-Ohutlevykiinnikkeet-more-than-you-expect.html>